

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2017

Bc. Jiří Hanzelka

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Řízení osvětlovacích soustav z hlediska změny náhradní  
teploty chromatičnosti**

Lighting systems controlling in terms of correlated color  
temperature changes

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Hanzelka**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Řízení osvětlovacích soustav z hlediska změny náhradní teploty chromatičnosti**  
**Lighting systems controlling in terms of correlated color temperature changes**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

- o Teorie barev a teplot chromatičnosti
- o Možnosti změn náhradní teploty chromatičnosti u LED
- o Regulace LED
- o Ověření možností řízení svítidel při změně náhradní teploty chromatičnosti
- o Nastavení řídicích křivek pro konstantní světelný tok při změně náhradní teploty chromatičnosti svítidla

### Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Katalogové listy LED a driverů

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 28.4.2017

.....

Bc. Jiří Hanzelka

## **Poděkování**

Na tomto místě chci vyjádřit poděkování vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Karelů Sokanskému, CSc. a doc. Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D. za podklady, cenné připomínky a čas věnovaný konzultaci diplomové práce. Chci také poděkovat Ing. Richardu Balejovi a Ing. Martinu Králi za pomoc s měřením a ochotu k vysvětlení důležitých otázek.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi řízení osvětlovací soustavy z hlediska změny náhradní teploty chromatičnosti. Cílem je stanovit řídicí křivky pro konstantní světelný tok při změně náhradní teploty chromatičnosti daného svítidla.

Práce také pojednává o vlivu světla na lidský organismus a psychiku. Pomocí spektrofotometru JETI specbos 1211 byly naměřené fotometrické veličiny. V programu Microsoft Excel byly zpracovány naměřené hodnoty a vytvořené řídicí křivky svítidla.

## **Klíčová slova**

Teplota chromatičnosti, index podání barev, vlnové délky, cirkadiánní rytmy, melatonin, kortizol, osvětlenost, světelný tok, LED.

## **Abstract**

This thesis deals with the options of management of the lighting system in terms of changes in correlated color temperature. The aim is to establish a control curve for a constant light flux during the change of correlated color temperature of the lamps.

The work also discusses the influence of light on the human body and psyche. By using a spectrophotometer, a JETI specbos 1211, have been measured photometric quantities. In the program Microsoft Excel were processed measured values and created control curves of the fixtures.

## **Keywords**

Color temperature, color rendering index, wavelength, circadian rhythms, melatonin, cortisone, luminous flux, LED

## Obsah

1.	Úvod .....	1
2.	Teorie barev světelných zdrojů .....	2
2.1	Vnímání barev .....	2
2.1.1	Barevný tón .....	3
2.1.2	Sytost barvy .....	3
2.1.3	Míchání barev .....	3
2.1.4	Teplota chromatičnosti .....	4
2.2	Trichromatické soustavy $T_c$ .....	5
2.3	Index podání barev $R_a$ .....	7
3.	Vliv světla na psychiku člověka .....	8
3.1	Cirkadiánní rytmy .....	8
4.	LED diody .....	10
4.1	Vznik bílého světla .....	10
5.	Regulace a napájení LED .....	13
6.	Měření fotometrických veličin pomocí spektrofotometru JETI specbos 1211 .....	15
7.	Měření svítidla pro stanovení řídicích křivek .....	16
7.1	Postup měření .....	17
7.2	Vlastní měření, naměřené hodnoty, grafy a vypočítané (aproximované) hodnoty .....	18
8.	Nastavení řídicích křivek pro konstantní světelný tok, při změně náhradní teploty chromatičnosti svítidla .....	40
9.	Závěr .....	43
	Literatura .....	44

## Seznam použitých symbolů a zkratek

E	osvětlenost	[lx]
f	kmitočet	[Hz]
I	proud	[A]
$I_n$	jmenovitý proud	[A]
$I_{\text{studená}}$	proud LED s $T_c = 2750 \text{ K}$	[K]
$I_{\text{teplá}}$	proud LED s $T_c = 4750 \text{ K}$	[K]
L	jas	[cd/m <sup>2</sup> ]
LED	světelná dioda (Light Emitting Diode)	[-]
R	odpor	[Ω]
Ra	index podání barev	[-]
$T_c$	teplota chromatičnosti	[K]
U	napětí	[V]
UV	ultrafialové záření	[nm]



## Seznam obrázků

obr. 1: Spektrum elektromagnetického záření [3] .....	2
obr. 2: Princip míchání tří základních barev [4] .....	4
obr. 3: Míchání doplňkových barev [5] .....	4
obr. 4: Teplota chromatičnosti [3] .....	5
obr. 5: Prostorové znázornění barevných podnětů v pravoúhlé soustavě [1] .....	5
obr. 6: Náčrt trojúhelníku barev v rovině $X + Y + Z = 1$ kolorimetrického prostoru [1] .....	6
obr. 7: Kolorimetrický trojúhelník [1] .....	6
obr. 8: Průběh cirkadiánních rytmů lidského těla [9] .....	9
obr. 9: Emisní spektra vybraných barevných LED [2] .....	10
obr. 10: Bílá LED dioda na principu luminiscenčního konvektoru [6] .....	11
obr. 11: Bílá LED a typická spektra LED s fosforovým luminoforem [1] .....	11
obr. 12: Emisní spektrum bílé LED, luminofor buzený světlem modré LED diody [2] .....	12
obr. 13: Emisní spektrum bílé LED diody, třípásmový luminofor buzený zářením UV diody [2] .....	12
obr. 14: Modul LED napájený napěťovým zdrojem .....	13
obr. 15: Schéma zdroje proudu pro napájení LED diod [2] .....	13
obr. 16: Spektrofotometr JETI specbos 1211 [1] .....	15
obr. 17: Svítidlo bez difuzoru .....	16
obr. 18: Zapojení předřadníku .....	16
obr. 19: Blokové schéma zapojení napájení a ovládní LED svítidla .....	17
obr. 20: Svit svítidla při max. proudu teplé LED .....	18
obr. 21: Svit svítidla při max. proudu studené LED .....	19
obr. 22: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti $T_c$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,044 \text{ A}$ .....	20
obr. 23: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti $E$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,044 \text{ A}$ .....	21
obr. 24: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti $T_c$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,089 \text{ A}$ .....	22
obr. 25: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti $E$ , při konstantním $I_{\text{studená}} = 0,089 \text{ A}$ .....	23
obr. 26: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti $T_c$ , při konstantním $I_{\text{studená}} = 0,143 \text{ A}$ .....	24
obr. 27: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti $E$ , při konstantním $I_{\text{studená}} = 0,143 \text{ A}$ .....	25
obr. 28: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti $T_c$ , při konstantním $I_{\text{studená}} = 0,215 \text{ A}$ .....	26
obr. 29: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti $E$ , při konstantním $I_{\text{studená}} = 0,215 \text{ A}$ .....	27
obr. 30: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti $T_c$ , při konstantním $I_{\text{studená}} = 0,247 \text{ A}$ .....	28
obr. 31: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti $E$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,247 \text{ A}$ .....	29
obr. 32: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti $T_c$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,282 \text{ A}$ .....	30
obr. 33: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti $E$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,282 \text{ A}$ .....	31
obr. 34: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti $T_c$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,337 \text{ A}$ .....	32
obr. 35: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti $E$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,337 \text{ A}$ .....	33
obr. 36: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti $T_c$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,398 \text{ A}$ .....	34
obr. 37: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti $E$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,398 \text{ A}$ .....	35
obr. 38: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti $T_c$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,443 \text{ A}$ .....	36
obr. 39: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti $E$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,443 \text{ A}$ .....	37
obr. 40: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti $T_c$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,495 \text{ A}$ .....	38
obr. 41: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti $E$ , při konstantní $I_{\text{studená}} = 0,495 \text{ A}$ .....	39
obr. 42: Graf teploty chromatičnosti .....	40
obr. 43: Graf světelného toku v procentech .....	41
obr. 44: Graf řídících křivek pro konstantní světelný tok při změně náhradní teploty chromatičnosti. ....	42

## Seznam tabulek

tab. 1: Vlnové délky ( $\lambda$ ) jednotlivých barev [1] .....	3
tab. 2: Mezní hodnoty pro teplé LED .....	18
tab. 3: Mezní hodnoty pro studené LED .....	19
tab. 4: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED $I = 0,044A$ .....	20
tab. 5: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu $I = 0,044A$ .....	21
tab. 6: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED $I = 0,089A$ .....	22
tab. 7: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu $I = 0,089A$ .....	23
tab. 8: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED $I = 0,143A$ .....	24
tab. 9: Vypočtené hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu $I = 0,143A$ .....	25
tab. 10: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED $I = 0,215A$ .....	26
tab. 11: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu $I = 0,215A$ .....	27
tab. 12: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED $I = 0,247A$ .....	28
tab. 13: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu $I = 0,247A$ .....	29
tab. 14: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED $I = 0,282A$ .....	30
tab. 15: Vypočtené hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu $I = 0,282A$ .....	31
tab. 16: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED $I = 0,337A$ .....	32
tab. 17: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu $I = 0,337A$ .....	33
tab. 18: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED $I = 0,398A$ .....	34
tab. 19: Tab. 19: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu $I = 0,398A$ .....	35
tab. 20: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED $I = 0,443A$ .....	36
tab. 21: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu $I = 0,443A$ .....	37
tab. 22: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED $I = 0,495A$ .....	38
tab. 23: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu $I = 0,495A$ .....	39

# 1. Úvod

Člověk se od počátku vyvíjel podle slunečního svitu, střídání dne a noci v závislosti na rotaci Země kolem své osy. Během tohoto střídání se u člověka vyvinuly takzvané cirkadiánní rytmy. Tyto rytmy trvají přibližně 24 hodin u zdravého člověka. Jde o to, že během tohoto rytmu dochází ke zvyšování a snižování hladiny hormonu melatoninu (také nazývaný spánkový hormon) v těle člověka. Vývin tohoto hormonu lze potlačit pomocí modrého (studeného) světla, kdy je teplota chromatičnosti vysoká. Potlačením melatoninu v organismu člověka vede k četným změnám, například ke zvýšené bdělosti, ke zvýšení srdečního tepu, k zvýšení tělesné teploty a celkově je člověk schopen podat lepší výkon.

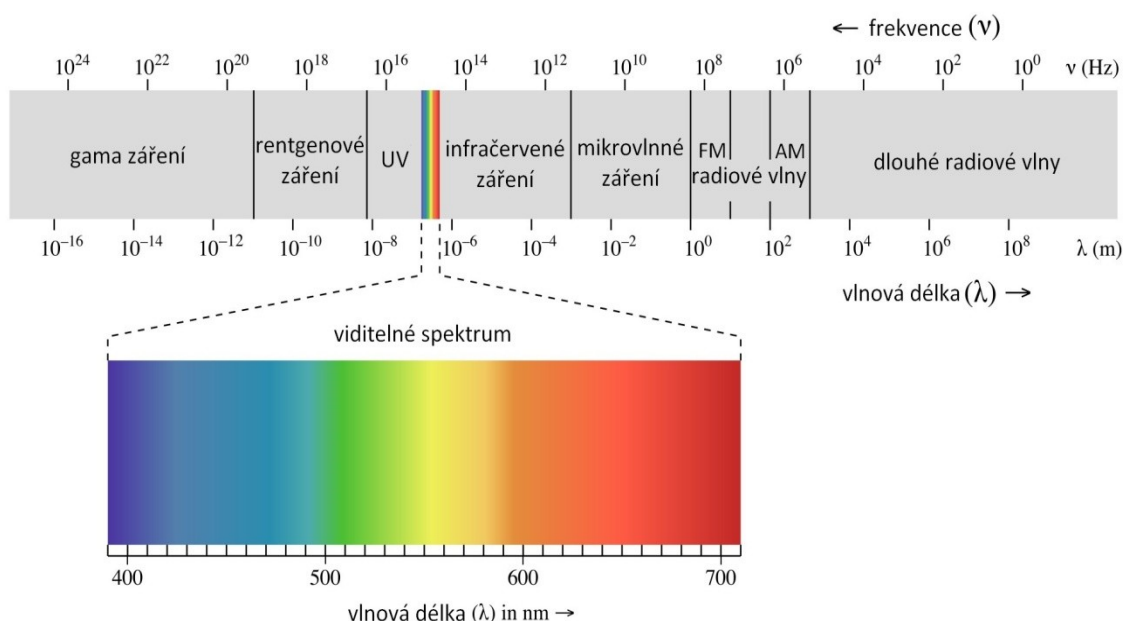
V poslední době dochází k rozvoji LED osvětlení nejen pro automobilový průmysl nebo venkovní osvětlení, ale i pro interiéry. Přichází se na nové poznatky, například že teplota chromatičnosti značně ovlivňuje činnost lidského organismu. Z tohoto důvodu by nové osvětlovací soustavy měly mít možnost plynulého řízení osvětlenosti a teploty chromatičnosti.

V první části (teoretické) této práce jsou shrnuty a vysvětleny základní pojmy, zejména teplota chromatičnosti, index podání barev, vliv světla na psychiku člověka, cirkadiánní rytmy atd. Rovněž je v této části zmíněn princip LED a způsob jak vzniká bílé světlo. Na konci této části je popsána regulace a napájení LED.

V druhé části (praktické) je popsáno měřené svítidlo, schéma zapojení a postup měření. Dále tabulky a grafy s naměřenými a vypočítanými veličinami LED svítidla. Cílem této práce je nastavení řídicích křivek pro konstantní světelný tok při změně náhradní teploty chromatičnosti svítidla.

## 2. Teorie barev světelných zdrojů

Světlo je viditelná část elektromagnetického záření neboli elektromagnetické vlnění o vlnových délkách v rozsahu 380 nm - 780 nm. Jakékoliv záření lze rozložit na složky se sinusovým průběhem, kde je každá složka charakterizována vlnovou délkou  $\lambda$  nebo kmitočtem  $f$ . Záření, které se vyznačuje jediným kmitočtem, se nazývá monofrekvenční. Na obr. 1 lze vidět jednotlivé složky záření seřazené podle jejich kmitočtů či vlnových délek. [1] [2]



obr. 1: Spektrum elektromagnetického záření [3]

Na obr. 1 je vidět i viditelná část záření tzv. optické záření. Toto optické záření leží mezi UV zářením (vlnová délka klesá, kmitočet roste) a infračerveným zářením (vlnová délka je větší a kmitočet menší).

### 2.1 Vnímání barev

Ve světelné technice se barevné vlastnosti předmětu označují pojmem kolorita a barevné vlastnosti světla se nazývají chromatičnost. Kolorita je dána spektrálním složením záření zdroje, který osvětluje určitý předmět a spektrální odrazivostí či propustností materiálu daného předmětu. Chromatičnost je dána spektrálním složením záření vysílaného primárním zdrojem. Monofrekvenční složky libovolného záření jsou ve viditelné části spektra charakterizovány určitým barevným počítkem. K záření určitého kmitočtu (vlnové délky) připadá určitá spektrální barva viz. tab. 1[1]

tab. 1: Vlnové délky ( $\lambda$ ) jednotlivých barev [1]

Vlnová délka $\lambda$ (nm)	Barevný tón viditelné části záření
380 - 420	Fialová
420 - 440	Modrofialová
440 - 460	Modrá
460 - 510	Modrozelená
510 - 560	Zelená
560 - 590	Žlutá
590 - 650	Oranžová
650 - 780	Červená

Zrakový orgán vnímá záření aditivně (skládá jednotlivé barvy spektra). Odezvy na monochromatické složky skládá na určitý vjem barev.[2]

### 2.1.1 Barevný tón

Je to kvalitativní rozdílnost vjemů jednotlivých spektrálních barev a vyjadřuje se označením modrá, bílá, červená atd. Vnímání určitého barevného tónu je u každého člověka jiné, protože je dána nejen množstvím energie vyzařované v určité oblasti vlnových délek, ale i spektrální citlivostí oka.

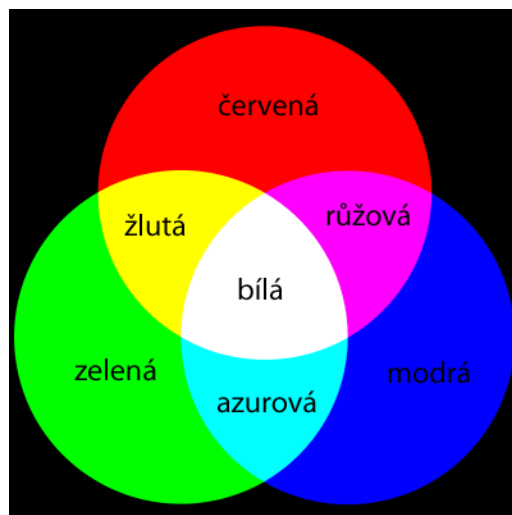
Barvy se rozdělují na pestré a nepestře. K pestrým barvám patří barvy, které mají barevný tón, tedy spektrální barvy, purpurové barvy a jejich odstíny vzniklé míšením. Purpurové barvy vznikají míšením dvou krajních částí spektra viditelného záření (spektrální barvy fialové a červené).[2]

### 2.1.2 Sytost barvy

Sytost barvy udává podíl čisté spektrální nebo purpurové barvy v dané barvě na celkovém barevném počítku. Sytost se zmenší, smíchá-li se spektrální barva s bílou barvou. Spektrální barvy jsou čistě syté a mají sytost rovnou jedničce. Nepestře barvy, čili černá, šedá a bílá mají sytost rovnou nule. Rozdíl mezi nepestrými barvami je v jejich intenzitě, tj. v hodnotě světelného toku nebo jasů.[1] [2]

### 2.1.3 Míchání barev

Odfiltruje-li se ze spektra slunečního záření (bílého světla) oblast náležící modrému světlu, dostane se záření žluté barvy. Podobný průběh následuje, pokud se odfiltruje červená oblast spektra, kdy dojde ke vzniku modrozelené barvy. Při odfiltrování zelené oblasti spektra z bílého světla lze získat barvu purpurovou. Spektrum viditelného záření (bílé světlo), lze rozložit na tři základní barvy: červenou, zelenou a modrou (RGB) viz obr. 2. [1] [2]



obr. 2: Princip míchání tří základních barev [4]

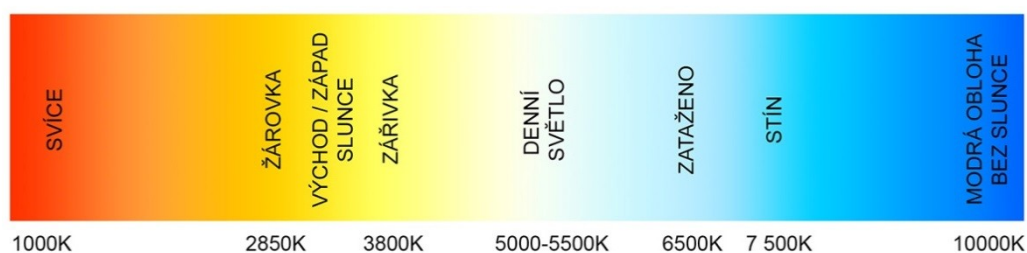
Smíchají-li se dvě základní barvy, vznikne barva doplňková. Bílé světlo lze získat i smíšením dvou doplňkových barev, což představuje obr. 3.



obr. 3: Míchání doplňkových barev [5]

#### 2.1.4 Teplota chromatičnosti

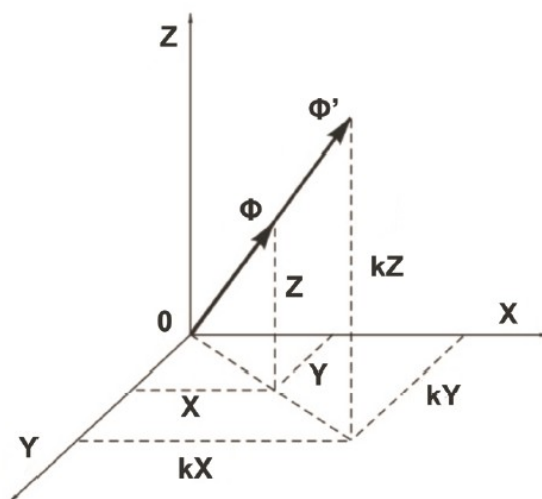
Teplota chromatičnosti může být nazývána i barevná teplota. Barvy dělí na teplé a studené. Tato teplota chromatičnosti je dána absolutně černým tělesem, které když zahřejeme na danou teplotu, tak vydává záření právě v dané barvě, viz obr. 4. Teplota chromatičnosti se měří v Kelvinech K.



obr. 4: Teplota chromatičnosti [3]

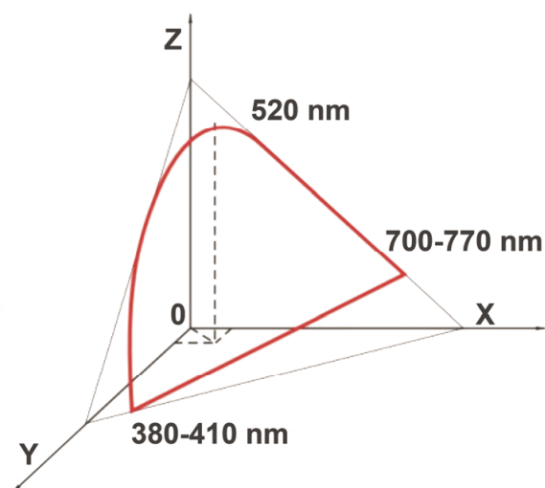
## 2.2 Trichromatické soustavy Tc

Pro objektivní popis barev byla mezinárodní komise pro osvětlování CIE vytvořena trichromatická soustava. Soustava se nazývá trichromatická, neboť k vytvoření jakékoliv barvy, je použito tří základních barev. Soustava je definována třemi barevnými členiteli, kteří se označují malými písmeny  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$ ,  $z(\lambda)$ . Velkými písmeny  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  se značí trichromatické složky. Ty pak udávají kolorimetrické množství všech tří barev, které vyvolají požadovaný barevný vjem. Ten je charakterizován intenzitou, barevnou sytostí a barevným tónem, lze znázornit na obr. 5. [1]



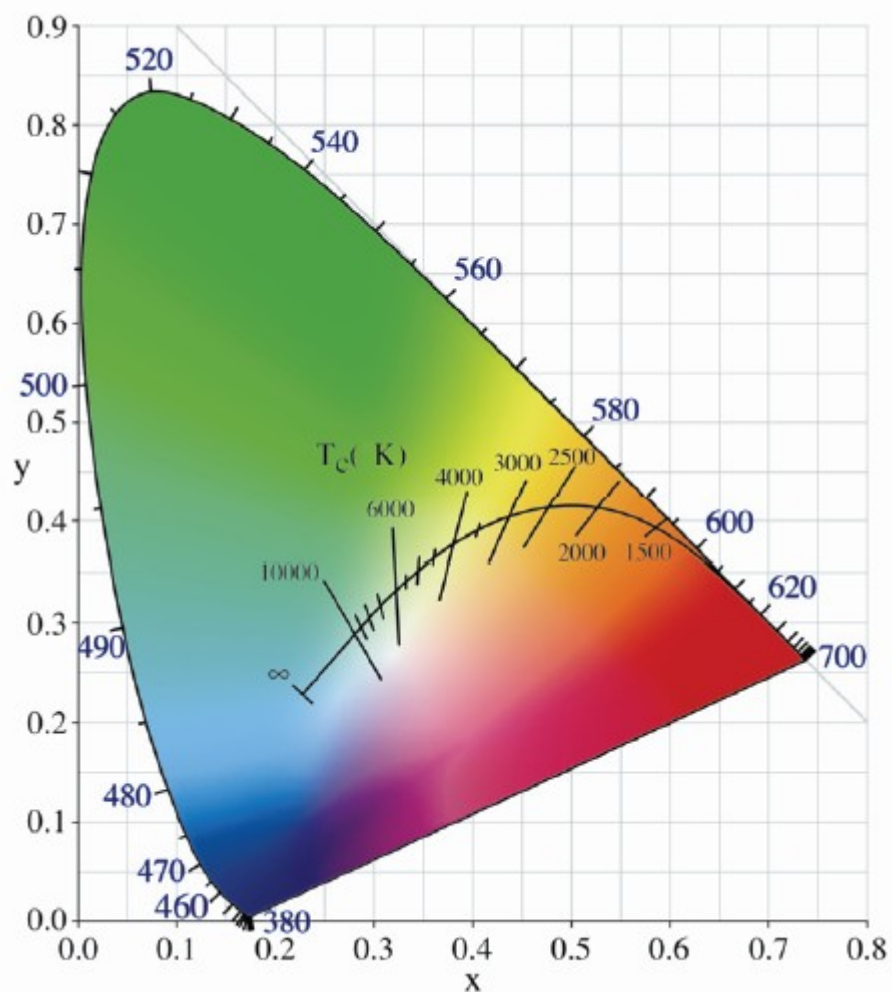
obr. 5: Prostorové znázornění barevných podnětů v pravoúhlé soustavě [1]

Intenzity všech barevných tónů jsou vyjádřeny přímkami procházejícími počátkem 0. Součtem všech tří trichromatických složek ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) je dána intenzita barevného podnětu. Pokud se v trojrozměrné soustavě vytne oblast, která na osách vytýčí stejně dlouhé úsečky (např. plocha  $X + Y + Z = 1$ ), tak se získá kolorimetrický trojúhelník barev obr. 6. Na křivce uzavřené mezi stranami trojúhelníku leží ryze spektrální barvy a každý bod uvnitř této křivky popisuje jednu barvu. [1]



obr. 6: Náčrt trojúhelníku barev v rovině  $X + Y + Z = 1$  kolorimetrického prostoru [1]

Pokud se nebude uvažovat intenzita, ale jen sytost a barevný tón, tak je prostorové znázornění zbytečné. Potom se může diagram barev promítnout jen do dvou os  $x, y$  viz. obr. 7.



obr. 7: Kolorimetrický trojúhelník [1]



## 2.3 Index podání barev Ra

Porovnává barevný vjem vzniklý na světle z daného zdroje, a tím jaký by tento vjem byl při působení pod smluvně stanoveným zdrojem (teplotním zdrojem, slunce). Index podání barev se udává v číselné hodnotě od 0 po 100. Při hodnotě 0 se nedají rozlišit barvy, naopak při hodnotě 100 lze nejlépe rozlišit barvy daného předmětu. Hodnota 100 představuje shodu v podání barev u teplotních zdrojů jako je např. wolframová žárovka, svíčka a slunce. V současné době se ve většině interiérů požaduje, aby zdroj světla měl  $R_a \geq 80$ , a to i ve většině pracovních prostorů.[1] [2]

### 3. Vliv světla na psychiku člověka

Světlo je pro člověka především prostředkem k získání a přenosu informací o prostředí, ve kterém se právě nachází. Aby člověk mohl správně přijímat a zpracovávat informace na všech úrovních zrakového systému s dostatečnou rychlostí, bez zkreslení a zbytečné námahy, musí být osvětlení přizpůsobeno zrakové činnosti tak, aby se zajistil potřebný světelný výkon pro nezbytnou zrakovou pohodu. Nekvalitní účinky světelného zařízení se mohou projevit například při osvětlení, které může způsobit úraz. Pak při nevhodně zvolené teplotě chromatičnosti světla, která může ztěžovat nebo znemožňovat rozlišování barev. Může také vzniknout pocit nepohody, který je zapříčiněn vlivem špatně zvoleného barevného tónu světla nebo nesouladem teploty chromatičnosti světla zdrojů s hladinami osvětlenosti. Pro odpočinkovou činnost mohou být hladiny jasů osvětlenosti nižší. Pro zajištění zrakové pohody je v těchto případech rozhodující, aby osvětlení přispělo k vytvoření příjemného prostředí a vytvoření dobré nálady. Při pracovních činnostech, kdy je špatně osvětlená pracovní plocha, může dojít jak ke zrakové, tak i k celkové únavě organismu. [2]

Je vědecky dokázáno, že nedostatek přirozeného světla způsobuje deprese. Symptomy mezi něž patří například nedostatek energie, zvýšená potřeba spánku, kolísání nálady, zvýšená chuť k jídlu, nárůst hmotnosti, se projevuje u 5 % - 20 % celkové populace. Tyto příznaky se nejčastěji vyskytují v zimních měsících a můžou se rozvinout až do formy sezónních afektivních poruch (SAD - Seasonal Affective Disorder). Poruchy je možné odstranit nebo alespoň zmírnit pomocí biologický účinného světla. Jde o světlo s vysokou úrovní osvětlenosti 2500 lx až 10000 lx. Doba aplikace závisí na úrovni osvětlenosti. U osvětlenosti 10000 lx se vyžaduje doba svitu pouze 30 minut, zatímco u 2500 lx je nutné svítit 120 minut. Reakce těla na tuto léčbu se objeví již během 2 až 4 dnů. Během 1 až 2 týdnů dojde k významnému zlepšení. [1] [4] [5]

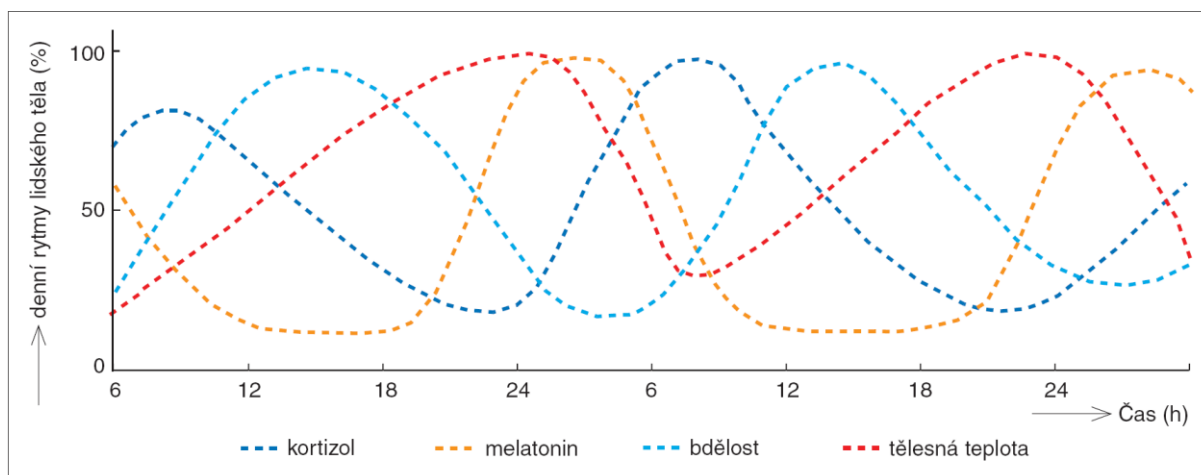
#### 3.1 Cirkadiánní rytmy

Většina biologických procesů v organismu člověka pravidelně kolísá zhruba ve 24 hodinovém cyklu, který se vyznačuje aktivní fází ve dne a klidovou fází v noci. Tento cyklus se vyvinul na základě pravidelného střídání dne a noci v závislosti na rotaci Země kolem své osy. V tomto biologickém rytmu mozek připravuje funkce organismu i jednotlivých orgánů na to, aby co nejlépe splňovaly nároky kladené na člověka z hlediska vykonávaných aktivit během dne i noci. Nejznámějším běžným kolísáním připravenosti organismu je buď k odpočinku nebo práci a různým aktivitám během dne. Toto je řízeno změnami v tvorbě hormonu melatoninu, jehož vylučování závisí na střídání světla a tmy. Nejvíce je tento hormon vylučován v průběhu tmy. Potlačení melatoninu v organismu člověka vede k četným změnám, například zvýšení tělesné teploty, zvýšení srdečního tepu, zvýšení bdělosti a člověk je celkově schopen podat lepší výkon. [1][2]

Informaci zda je tma nebo světlo dostává mozek z gangliových buněk, které jsou umístěny v sítnici oka. Gangliové buňky jsou nejcitlivější v oblasti vlnových délek 450 nm - 480 nm, tedy záření odpovídající modrému světlu. Tyto buňky obsahují melanopsin potřebný k rozpoznávání světla s odlišným spektrálním průběhem. Ty dále předávají informace o stavu osvětlení řídicímu ústrojí v mozku nazývaném suprachiasmatické jádro. Odtud jsou předány informace těm částem mozku, které řídí cirkadiánní rytmy. Jakmile se setmí, dostane epifyza (šišinka) podnět, aby začala vytvářet hormon

melatonin. Melatonin způsobuje ospalost a tímto se organismus chystá ke spánku. Ráno, kdy se začne rozednívat, dostane epifýza podnět a přestane vytvářet melatonin. Podobným způsobem se vytváří i jiné hormony, například kortizol (adrenalin). Ten se začne produkovat především ráno, kdy připravuje organismus na různé stresové a nečekané situace během dne. [1][2]

Na obr. 8: Průběh cirkadiánních rytmů lidského těla, je znázorněn průběh čtyř cirkadiánních rytmů během 48 hodin. Z obrázku je zřejmé, že maximum bdělosti nastává mezi 12 - 13 hodinou, oproti tomu minimum bdělosti mezi 3 - 4 hodinou. U průběhu hormonů melatoninu je to naopak. Maximum tvorby melatoninu je mezi 3 - 4 hodinou a během dne je na minimu. Hladina kortizolu se dostává na vrchol mezi 7 - 8 hodinou. Na obrázku si lze také všimnout různých strmostí průběhu a rozdílných časových intervalů (maxim a minim) jednotlivých cirkadiánních rytmů. [1][2]



obr. 8: Průběh cirkadiánních rytmů lidského těla [9]

Obvyklý cirkadiánní rytmus fyziologických procesů u zdravého člověka bývá obvykle takto:

- 2:00 h hluboký spánek
- 6:00 h tělesná teplota je na minimu
- 8:00 h končí vylučování melatoninu
- 13:00 h největší bdělost
- 17:00 h svalová síla je na maximu
- 20:00 h začíná vylučování melatoninu
- 22:00 h tělesná teplota je na maximu
- 22:00 h potlačení pohybu střev

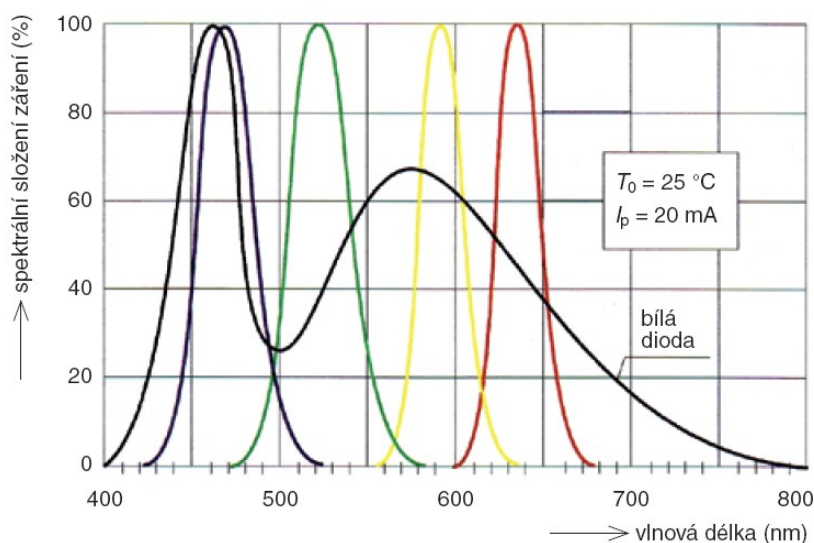
## 4. LED diody

Elektroluminiscenční neboli světelná dioda, zkratka LED (Light Emitting Diode), je polovodičová součástka obsahující přechod PN, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. První diody svítily červeně, po nich se začínaly objevovat zelené, oranžové, žluté, a v poslední řadě modré diody. Všechny tyto typy se vyznačují velmi úzkou křivkou spektrálního složení, která se pohybovala ve vlnových délkách do několika desítek nanometrů. Objev modré diody umožnilo vyvinout diodu s bílou barvou, vyzařující v celé oblasti spektra. To mělo za následek rozšíření oblasti jejich použití. [1] [2]

### 4.1 Vznik bílého světla

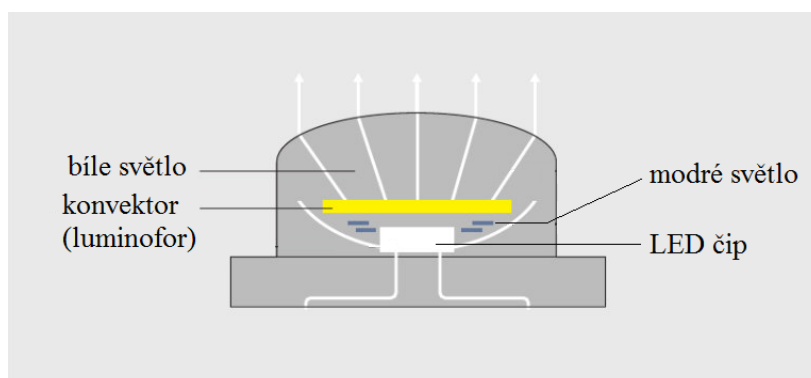
Světlo je vnímáno jako bílé, pokud jsou tři číčky na sítnici oka vybudeny v určitém poměru. U bílého světla jsou trichromatické složky umístěny v blízkosti středu trichromatického trojúhelníku viz. obr. 7. Vznik bílého světla u LED diod lze docílit dvěma způsoby:

1) Prvním způsobem je **mísení monochromatických barev**. Bílé světlo můžeme získat pomocí dvou barev (dichromatický zdroj), nebo tří barev (trichromatický zdroj, RGB) a více barev. Zvýšením počtu monochromatických barev se zvýší i kvalita podání barev  $R_a$ . Nevýhodou tohoto způsobu mísení barev je, že jednotlivé barvy nerovnoměrně degradují v průběhu života a dochází k nežádoucím posunům barvy vyzařovaného světla. Na obr. 9 jsou spektra vybraných barevných LED diod společně se spektrem jednoho typu bílé LED diody. [1]



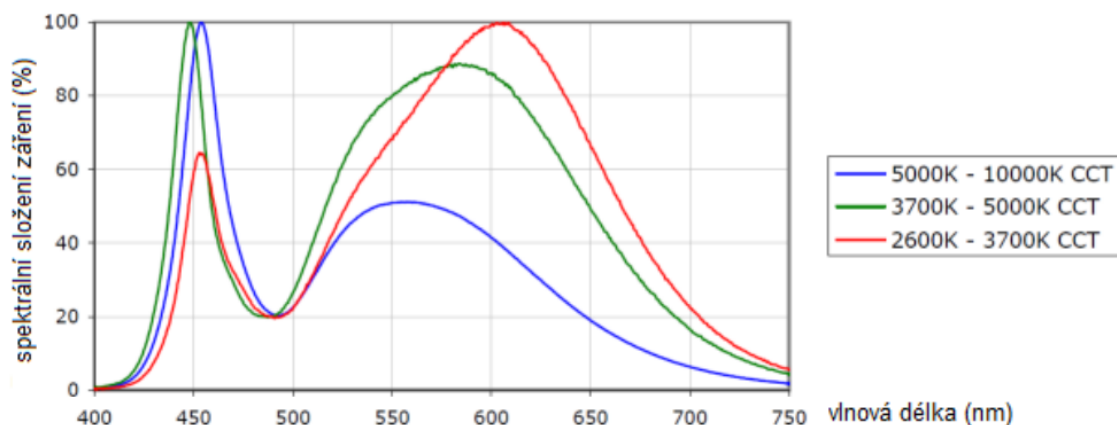
obr. 9: Emisní spektra vybraných barevných LED [2]

2) Druhým způsobem je **konvektor vlnových délek**. Princip spočívá v tom, že část krátkovlnného záření (většinou v modré oblasti) je absorbována v konvektorovém materiálu a poté vyzářena jako světelné záření s delší vlnovou délkou. Jako konvektor vlnových délek se nejčastěji používá luminofor na bázi fosforu. Princip této LED diody je znázorněn na obr. 10, Bílá LED dioda na principu luminiscenčního konvektoru. [1]



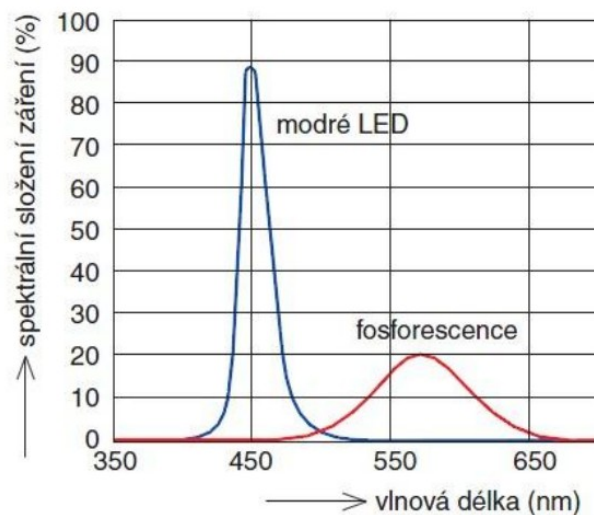
obr. 10: Bílá LED dioda na principu luminiscenčního konvektoru [6]

"Typickým představitelem je bílá LED založená na modrém LED čipu (GaInN/GaN) a fosforovém konvertoru. Záření ve viditelné oblasti, které je vyzařováno z polovodiče, je modré barvy. Část světla je distribuována přímo k pozorovateli a část krátkovlnných fotonů je v prostoru zapouzdření (fosforová vrstva) absorbována a znova emitována s delší vlnovou délkou ve žlutém spektru. Vyzařované spektrum se skládá z luminiscence modrého světla a fosforescence světla žlutého. **Nastavováním vzájemného poměru luminiscence a fosforescence lze optimalizovat nejen náhradní teplotu chromatičnosti, ale také měrný výkon (se vzrůstající  $T_C$  klesá) a index podání barev (s klesající  $T_C$  roste).**" [1] [6]



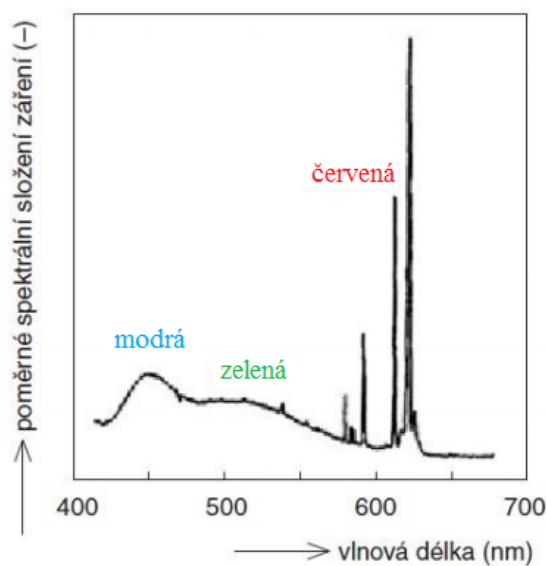
obr. 11: Bílá LED a typická spektra LED s fosforovým luminoforem [1]

Jako vhodný luminofor se používá ytрито-hlinitý granát aktivovaný cerem, který je buzen zářením modré diody InGaN (spektrum lze vidět na obr. 12), nebo třípásmovým luminoforem buzený diodou vyzařující v ultrafialovém spektru (lze pozorovat na obr. 13)



obr. 12: Emisní spektrum bílé LED, luminofor buzený světlem modré LED diody [2]

Tento princip vzniku světla je podobný jako u klasických zářivek.

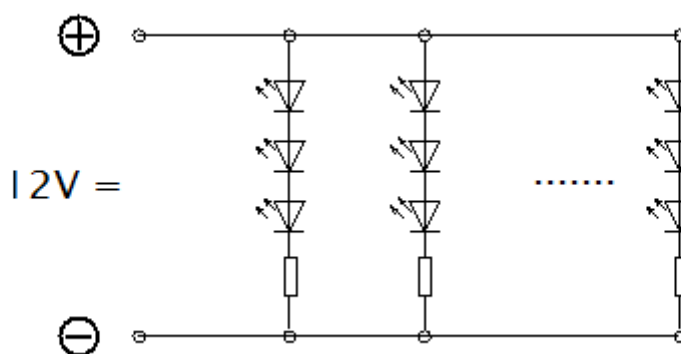


obr. 13: Emisní spektrum bílé LED diody, třípásmový luminofor buzený zářením UV diody [2]

Spektrum zobrazené na obr. 11 obsahuje ve viditelné oblasti záření modré LED i spektrum daného luminoforu. Tato varianta je v porovnání s LED se třemi čipy (RGB) energeticky úspornější, má menší rozměry. Na druhou stranu je ve výsledném (modro-žlutém) spektru potlačená červená a zelená složka, což vede k horšímu podání barev  $R_a$ . U LED diod s ultrafialovým zářením a použitím třípásmového luminoforu se neprojevuje zhoršení podání barev  $R_a$ , ale dosahuje hodnot nad 80.[2]

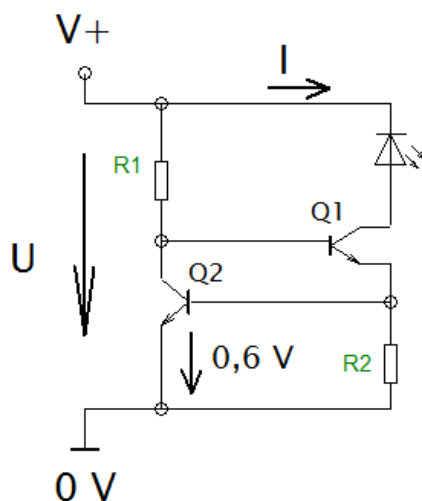
## 5. Regulace a napájení LED

Platí předpoklad, že čím vyšší proud LED diodou teče, tím jasněji LED dioda svítí. Nejjednodušším zapojením LED je zapojení s předřadným odporem, který slouží k omezení proudu a k napájení se používá **napětový zdroj**. Jelikož je úbytek napětí na diodách různých barev jiný, musí být předřadný odpor pro každou barvu i pro každou velikost napájecího napětí jiný. A další nevýhodou je, že při kolísání napětí se mění tekoucí proud diodou, a tím i vyzařovaný světelný tok. Navíc má tato varianta malou účinnost, neboť nepotřebná energie se maří v předřazeném odporu a mění se v teplo. Na obr. 14 lze vidět zapojení LED modulu napájeného napětovým zdrojem.[2]



obr. 14: Modul LED napájený napětovým zdrojem

Jako výhodnější zdroj pro napájení světelných LED se jeví **proudový zdroj**. Tento zdroj dodává potřebný, definovaný proud, který není závislý na velikosti napájecího napětí ani na úbytku napětí na jednotlivých diodách. Výstupní proud ze zdroje je stále stejný až do chvíle, kdy je odpor zátěže tak velký, že tento zdroj není schopen zajistit výstupní proud ani při maximálním výstupním napětí. Proudové zdroje jsou definované jak výstupním proudem, tak i maximálním napětím. Schéma zapojení LED diody a zdroje proudu je zobrazeno na obr. 15.[2]



obr. 15: Schéma zdroje proudu pro napájení LED diod [2]

*"Sériovým zapojením LED, tranzistorů Q1 a rezistorů R2 prochází proud I, který na rezistorů R2 vyvolá úbytek napětí, otevírající tranzistor Q2. Je-li proud I příliš velký. Q2 se více otevře a tím přivře tranzistor Q1 a proud klesne. Napětí potřebné k otevření Q2 je přibližně 0,6 V a tak se proud ustálí na hodnotě dané vztahem  $I = 0,6V/R2$ . Ze vztahu je patrné, že proud nezávisí ani na napájecím napětí ani na úbytku napětí na diodě."*[2]

Regulace jasu u LED lze provádět v rozsahu 0 - 100 %. Regulace jasu změnou amplitudy napájecího napětí není vhodná, kvůli průběhu voltampérové charakteristiky, neboť do určité hodnoty napětí LED vůbec nesvítí. Po překročení této určité hodnoty napětí se velikost proudu náhle zvětší a tím i světelný tok LED. Proto se pro regulaci LED používá pulsně šířková modulace (PWM). Provozní doba LED se rozdělí do úseku, kdy se mění poměr času, kdy LED bude svítit a kdy ne. Využívá se toho, že lidské oko není schopné rozeznat velmi rychlé blikání. Tato doba zhasnutí však nesmí být delší než 10 ms. Z toho vyplývá, že kmitočet blikání musí být větší než 100 Hz. Tento způsob regulace by se neměl používat tam, kde by mohl nastat stroboskopický jev.[2]



## 6. Měření fotometrických veličin pomocí spektrofotometru JETI specbos 1211

Měření LED svítidel probíhalo ve světelné laboratoři Vysoké školy Báňské. K měření fotometrických veličin byl použit spektrofotometr JETI specbos 1211.



*obr. 16: Spektrofotometr JETI specbos 1211 [1]*

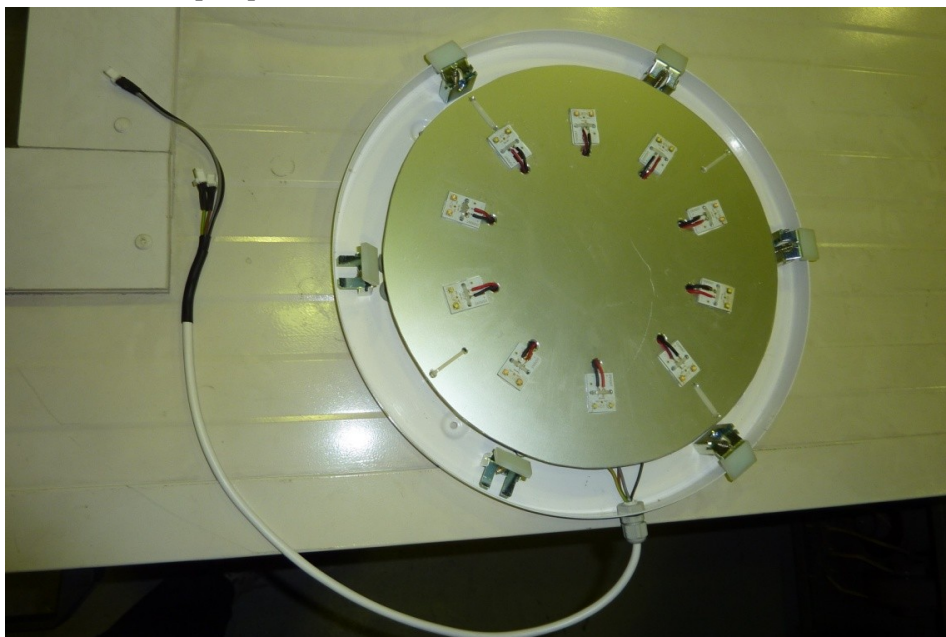
Spektrofotometr měří spektra optického záření. Pracuje na principu rozkladu světla na hranolu nebo mřížce. Pomocí spektrofotometru můžeme měřit spektrální složení dopadajícího záření, jas, osvětlenost, index podání barev, trichromatické souřadnice x,y,u,v, náhradní teplotu chromatičnosti, dominantní vlnovou délku a kolorimetrickou čistotu.[1]

Použitý spektrofotometr pracuje prostřednictvím 15 bitového A/D převodníku. Při snímání spektra vyzařování daného zdroje, je krok pro snímání vlnových délek 1 nm. Rozsah osvětlenosti je od 2 lx do 10000 lx, rozsah jasu je od 0,1 cd/m<sup>2</sup> do 2500 cd/m<sup>2</sup> s přesností  $\pm 2 \%$  na 100 cd/m<sup>2</sup>. Rozsah vlnových délek, ve kterých lze měřit je od 350 nm do 1000 nm s přesností  $\pm 0,5$  nm. Náhradní teplota chromatičnosti se vypočítává s přesností  $\pm 20$  K.

Pomocí počítačového programu JETI LiMeS lze snímat a analyzovat data. Přes USB rozhraní lze propojit s PC. [10] [11]

## 7. Měření svítidla pro stanovení řídicích křivek.

K ověření možností řízení svítidla při změně náhradní teploty chromatičnosti bylo použito svítidlo vyvíjené na fakultě FEI ve spolupráci s firmou OSMONT viz obr. 17.



obr. 17: Svítidlo bez difuzoru

Svítidlo obsahuje 10 LED s  $T_c = 2750\text{ K}$  (teplá barva),  $\varnothing = 118\text{ mm}$  a 10 LED s  $T_c = 4750\text{ K}$  (studená barva),  $\varnothing = 122\text{ mm}$ . Oba typy LED mají jmenovitý proud  $I_n = 0,500\text{ mA}$ .

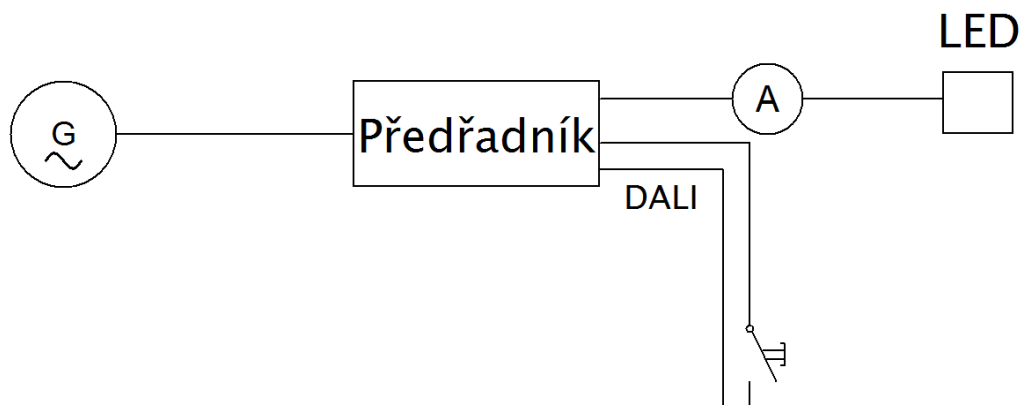
K napájení LED bylo zapotřebí dvou předřadníků od firmy TRIDONIC s rozhraním DALI viz. obr. 18.



obr. 18: Zapojení předřadníku

Jeden předřadník napájí LED s  $T_c = 2750\text{ K}$  (teplá barva) a druhý předřadník napájí LED s  $T_c = 4750\text{ K}$  (studená barva).

Mezi předřadník a LED byly do série zapojeny dva ampérmetry, každý pro určitou barvu. Na ampérmetrech se odečítaly hodnoty proudu při každé změně. Intenzita osvětlení byla regulovaná pomocí pulzní šířkové modulace (rozhraní DALI). Ovládání regulace bylo prováděno pomocí tlačítek. Bokové schéma tohoto zapojení lze vidět na obr. 19. Blokové schéma zapojení napájení a ovládání.



obr. 19: Blokové schéma zapojení napájení a ovládání LED svítidla

## 7.1 Postup měření

- 1) Do kulového integrátoru bylo vloženo svítidlo i s difuzorem, napájené ze sítě přes předřadníky.
- 2) Pro měření osvětlenosti ( $E$ ) a teploty chromatičnosti jsme si připravili spektrofotometr JETI specbos 1211.
- 3) Nejprve byly proměřené teplé LED, kdy se nastavovala hodnota proudu od 0 do 0,495 A. Studené LED byly na 0 A. Tímto měřením se zjistily mezní hodnoty na ose x.
- 4) Následně byly proměřené studené LED, kdy se opět nastavovala hodnota proudu od 0 do 0,495 A. Teplé LED byly na 0 A. Tímto měřením se zjistily mezní hodnoty na ose y.
- 5) Nastavila se konstantní hodnota proudu na studených LED a k tomu se nastavovala hodnota proudu pro teplé LED po 10 krocích.
- 6) Na závěr bylo změřeno 10 konstantních hodnot na studené LED a ke každé dané hodnotě bylo nastaveno dalších 10 hodnot na teplé LED.

## 7.2 Vlastní měření, naměřené hodnoty, grafy a vypočítané (aproximované) hodnoty

### Měření mezních hodnot studené a teplé LED:

tab. 2: Mezní hodnoty pro teplé LED

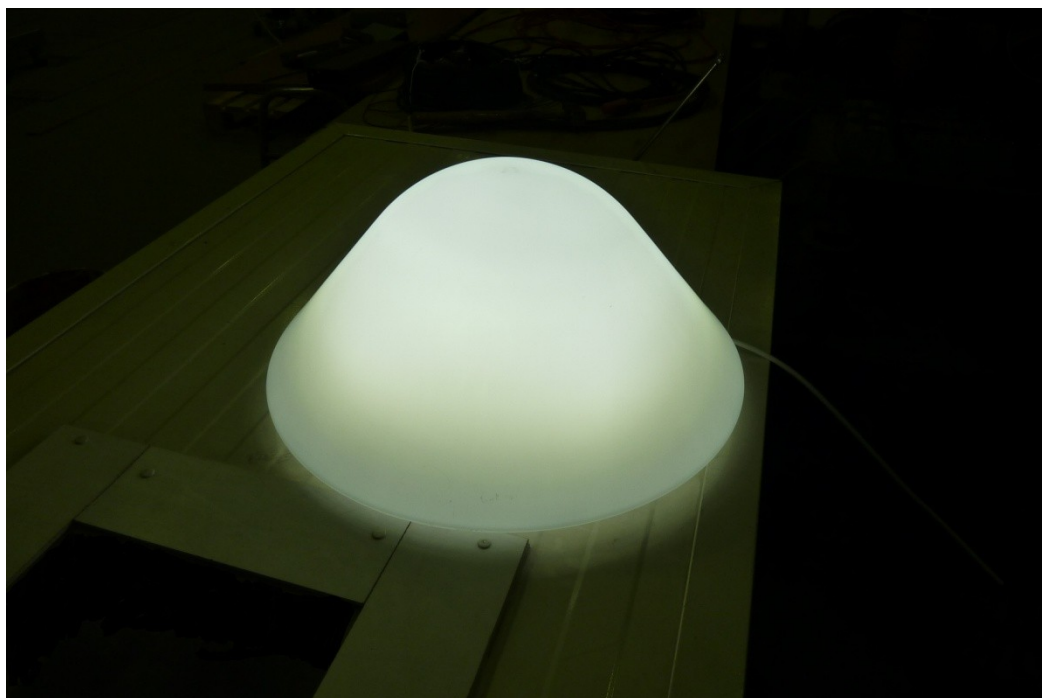
Teplá			
$I_{\text{studená}}$ [A]	$I_{\text{teplá}}$ [A]	$T_c$ [K]	$E$ [lx]
0	0	0	0
0	0,018	2686	18,3
0	0,028	2694	27,1
0	0,047	2702	44,6
0	0,073	2710	69
0	0,1	2718	94,4
0	0,127	2724	120
0	0,159	2727	149,2
0	0,19	2730	177
0	0,209	2733	193
0	0,251	2737	230
0	0,27	2740	245,7
0	0,302	2744	270
0	0,344	2749	304
0	0,39	2752	336,5
0	0,443	2756	375,8
0	0,468	2757	395,5
0	0,495	2762	414



obr. 20: Svit svítidla při max. proudu teplé LED

tab. 3: Mezní hodnoty pro studené LED

Studená			
$I_{\text{teplá}}$ [A]	$I_{\text{studená}}$ [A]	$T_c$ [K]	$E$ [lx]
0	0	0	0
0	0,015	4614	15,9
0	0,038	4661	39,72
0	0,066	4687	67,61
0	0,11	4717	109,7
0	0,132	4718	130,3
0	0,189	4739	174,8
0	0,196	4739	190,1
0	0,206	4742	200
0	0,252	4753	240,5
0	0,282	4758	265,2
0	0,292	4768	272,8
0	0,332	4771	307,3
0	0,37	4779	338,1
0	0,406	4784	365,6
0	0,429	4797	382,8
0	0,461	4807	405,7
0	0,495	4806	431,1

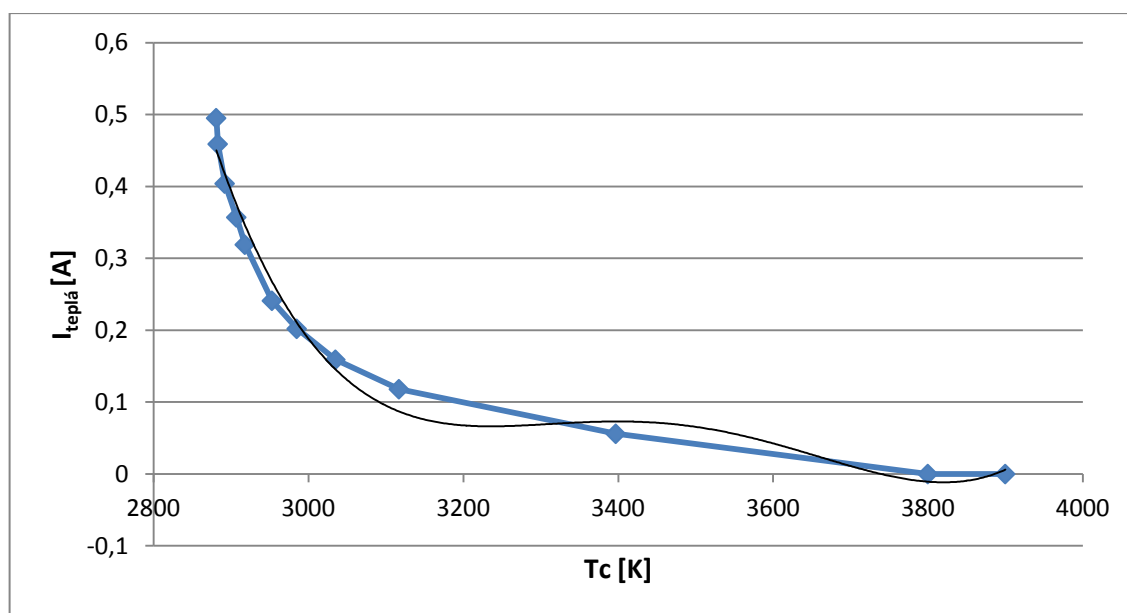


obr. 21: Svit svítidla při max. proudu studené LED

# 1. měření a výpočty pro konstantní nastavený proud studenou LED $T_c = 4750 \text{ K}$ , $I = 0,044 \text{ A}$

tab. 4: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED  $I = 0,044 \text{ A}$

1. Studená $I = 0,044 \text{ A}$		
Teplá $I [\text{A}]$	E [lx]	$T_c [\text{K}]$
0	45	3902
0,056	97,8	3397
0,118	157,2	3117
0,159	195,5	3035
0,202	234	2985
0,241	271,6	2953
0,319	333,1	2918
0,357	363,5	2907
0,404	400	2892
0,459	439	2883
0,495	463	2881

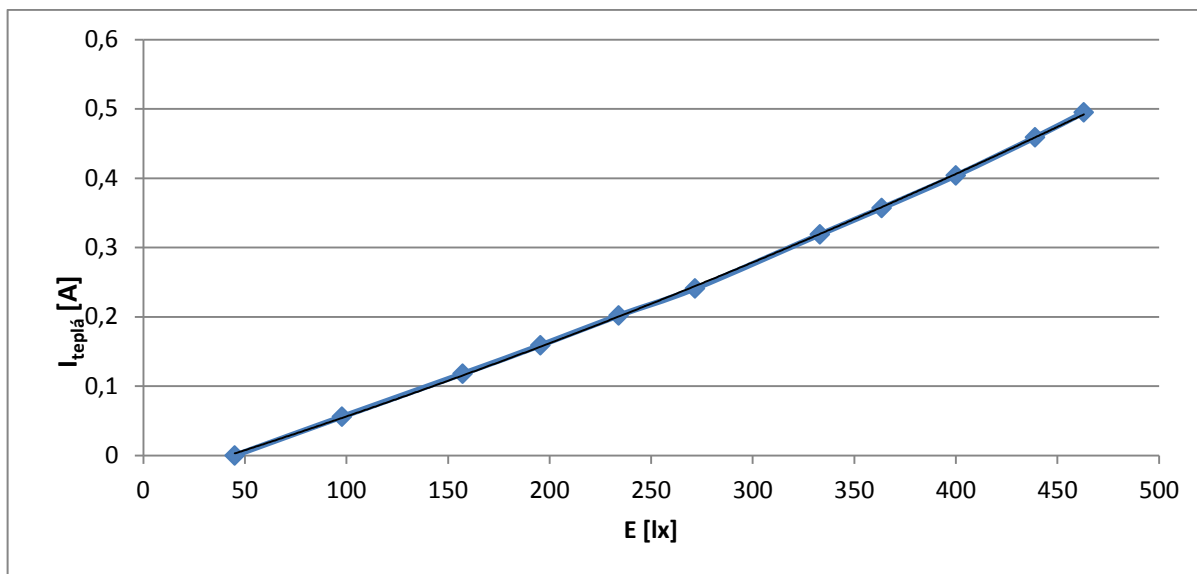


obr. 22: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti  $T_c$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,044 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 4. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000000000045597 \cdot x^4 - 0,0000000635601068 \cdot x^3 + 0,0003314193384594 \cdot x^2 - 0,7662468993461130 \cdot x + 662,9410752410550000$$

Pomocí této rovnice byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě teploty chromatičnosti viz. tab. 5: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,044 \text{ A}$



obr. 23: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti  $E$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,044 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 2. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000005482669802 \cdot x^2 + 0,0008916999416311 \cdot x - 0,0382135157273834$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě osvětlenosti viz. tab. 5: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,044 \text{ A}$

tab. 5: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu  $I = 0,044 \text{ A}$

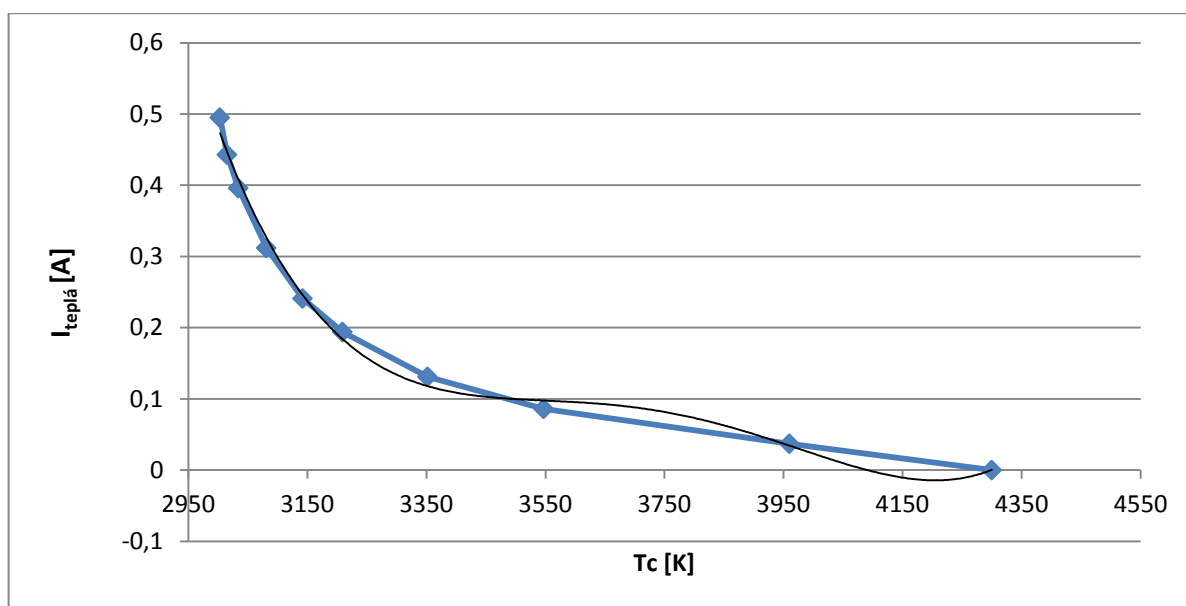
Teplá I [A]	Tc [K]	Teplá I [A]	E [lx]
0,272687	2950	0,0077421	50
0,074827	3150	0,1078775	150
0,070603	3350	0,2189782	250
0,054384	3550	0,3410442	350
-0,004371	3750	0,4740755	450
0,038891	3950	0,6180722	550
0,503815	4150	0,7730342	650
1,885139	4350	0,9389616	750
4,852693	4550	1,0795986	830



## 2. měření a výpočty pro konstantní nastavený proud studenou LED $T_c = 4750 \text{ K}$ , $I = 0,089 \text{ A}$

tab. 6: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED  $I = 0,089 \text{ A}$

2. Studená $I = 0,089 \text{ A}$		
Teplá $I [\text{A}]$	E [lx]	$T_c [\text{K}]$
0	90	4300
0,037	122,2	3960
0,086	166,8	3547
0,131	209,4	3352
0,194	265	3209
0,241	305,6	3142
0,312	364,3	3081
0,396	428,6	3034
0,443	462	3015
0,495	497,5	3003



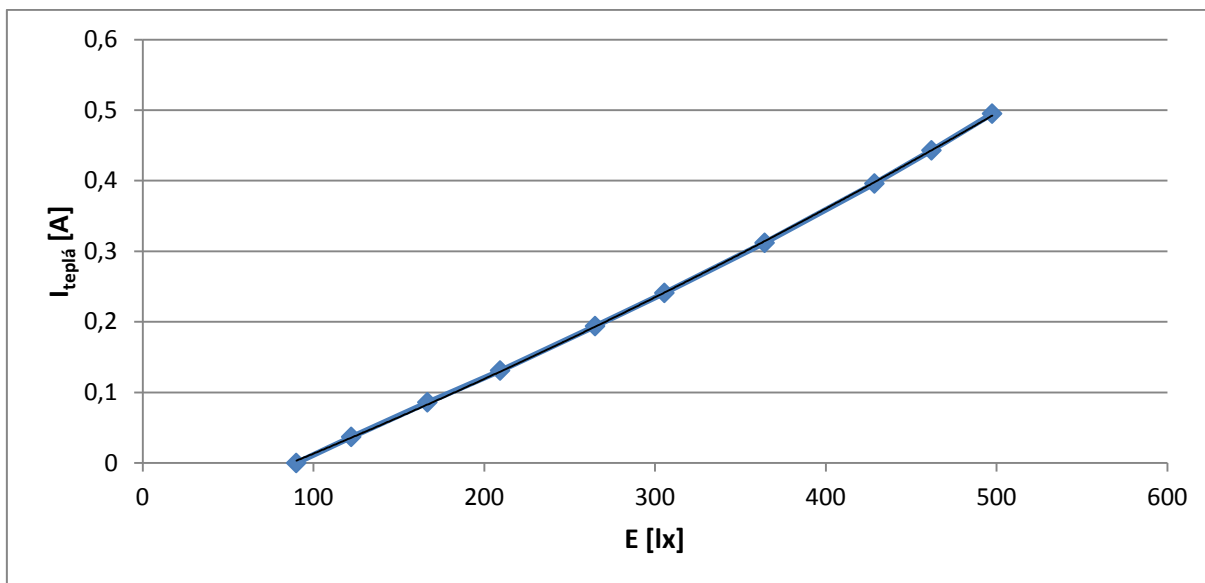
obr. 24: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti  $T_c$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,089 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 4. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000000000015449 \cdot x^4 - 0,0000000232563586 \cdot x^3 + 0,0001308645593532 \cdot x^2 - 0,3263759364718090 \cdot x + 304,6135645270420000$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě teploty chromatičnosti viz. tab. 7: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,089 \text{ A}$





obr. 25: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti  $E$ , při konstantním  $I_{\text{studená}} = 0,089 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 2. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000004948424351 \cdot x^2 + 0,0009094054357400 \cdot x - 0,0825142635931030$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě osvětlenosti viz. tab.

7: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,089 \text{ A}$

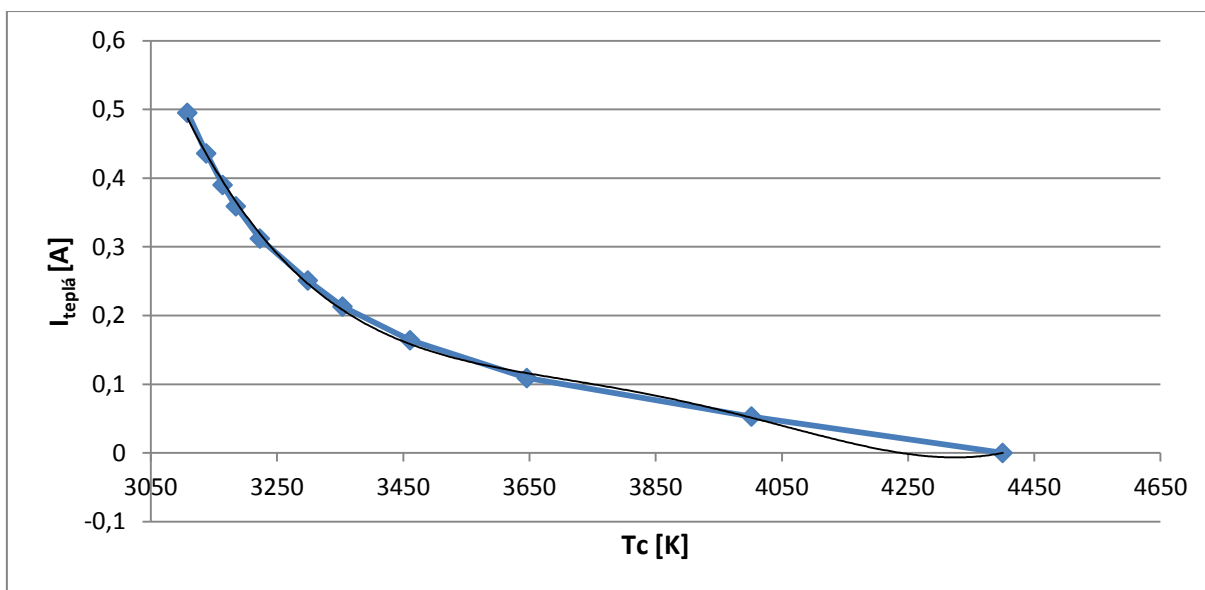
tab. 7: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu  $I = 0,089 \text{ A}$

Teplá I [A]	Tc [K]	Teplá I [A]	E [lx]
0,608114	2950	-0,035807	50
0,239802	3150	0,0650305	150
0,12184	3350	0,1757647	250
0,101941	3550	0,2963958	350
0,087143	3750	0,4269238	450
0,043805	3950	0,5673486	550
-0,002387	4150	0,7176702	650
0,033575	4350	0,8778887	750
0,296026	4550	1,0131892	830

### 3. měření a výpočty pro konstantní nastavený proud studenou LED $T_c = 4750 \text{ K}$ , $I = 0,143 \text{ A}$

tab. 8: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED  $I = 0,143 \text{ A}$

3. Studená $I = 0,143 \text{ A}$		
Teplá $I [\text{A}]$	E [lx]	$T_c [\text{K}]$
0	141	4408
0,053	193,5	4002
0,109	246	3646
0,164	295,9	3461
0,213	338,1	3354
0,251	370,5	3299
0,312	422	3223
0,359	454,7	3185
0,39	481,6	3164
0,436	515,2	3138
0,495	557,5	3108

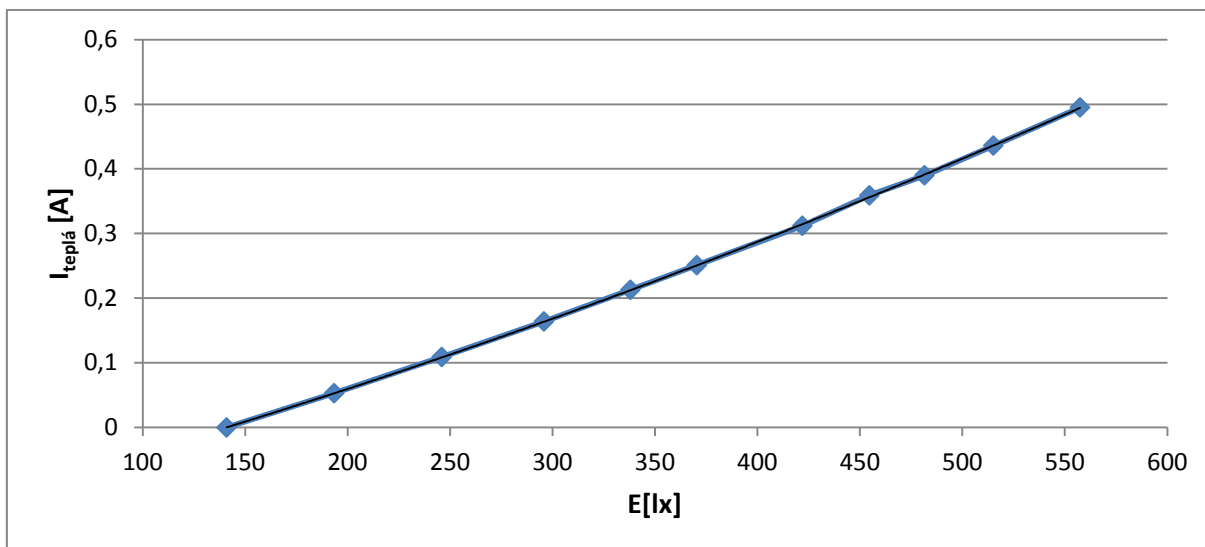


obr. 26: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti  $T_c$ , při konstantním  $I_{\text{studená}} = 0,143 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 4. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000000000010454 \cdot x^4 - 0,0000000162264946 \cdot x^3 + 0,0000942596649615 \cdot x^2 - 0,2430563750695120 \cdot x + 235,0019355250660000$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě teploty chromatičnosti viz. tab. 9: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,143 \text{ A}$ .



obr. 27: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti  $E$ , při konstantním  $I_{\text{studená}} = 0,143 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 2. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000005023731755 \cdot x^2 + 0,0008352876186170 \cdot x - 0,1274023383524620$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě osvětlenosti viz. tab.

9: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,143 \text{ A}$

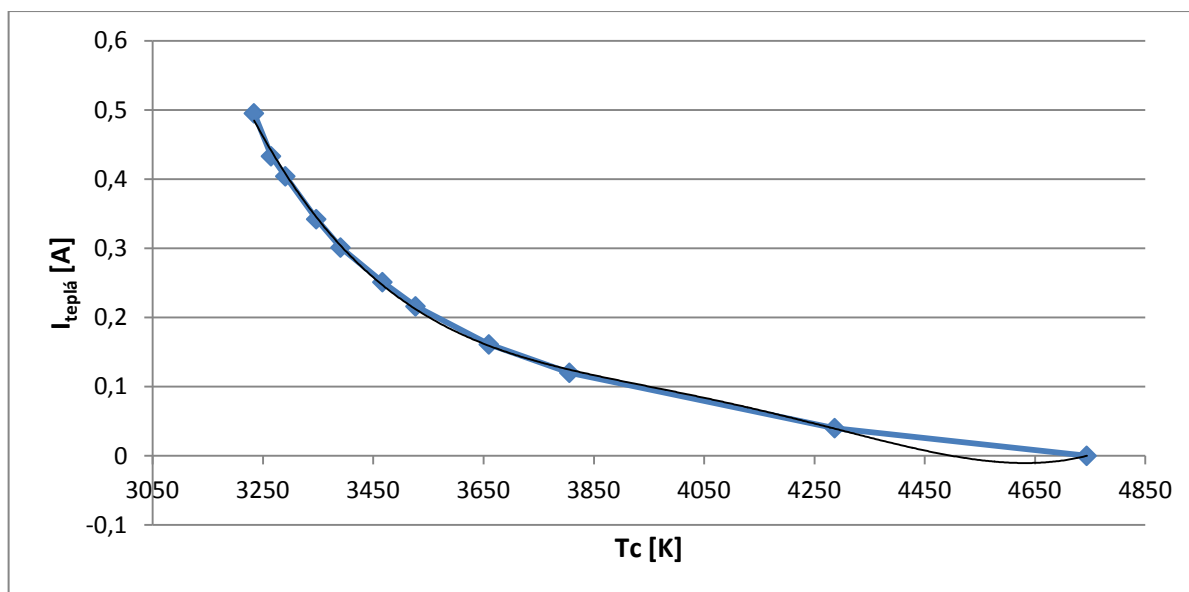
tab. 9: Vypočtené hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu  $I = 0,143 \text{ A}$

Teplá I [A]	Tc [K]	Teplá I [A]	E [lx]
0,879517	2950	-0,084382	50
0,418502	3150	0,009194	150
0,213406	3350	0,112818	250
0,137689	3550	0,226489	350
0,10495	3750	0,350208	450
0,068934	3950	0,483974	550
0,02353	4150	0,627787	650
0,002768	4350	0,781648	750
0,080824	4550	0,911971	830

#### 4. měření a výpočty pro konstantní nastavený proud studenou LED $T_c = 4750 \text{ K}$ , $I = 0,215 \text{ A}$

tab. 10: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED  $I = 0,215 \text{ A}$

4. Studená $I = 0,215 \text{ A}$		
Teplá $I$ [A]	E [lx]	$T_c$ [K]
0	206	4744
0,04	245,3	4287
0,12	319	3806
0,161	356,7	3660
0,216	406,2	3527
0,251	433,7	3467
0,301	476,1	3391
0,342	506,9	3347
0,404	554,5	3291
0,433	582,5	3265
0,495	619,6	3234

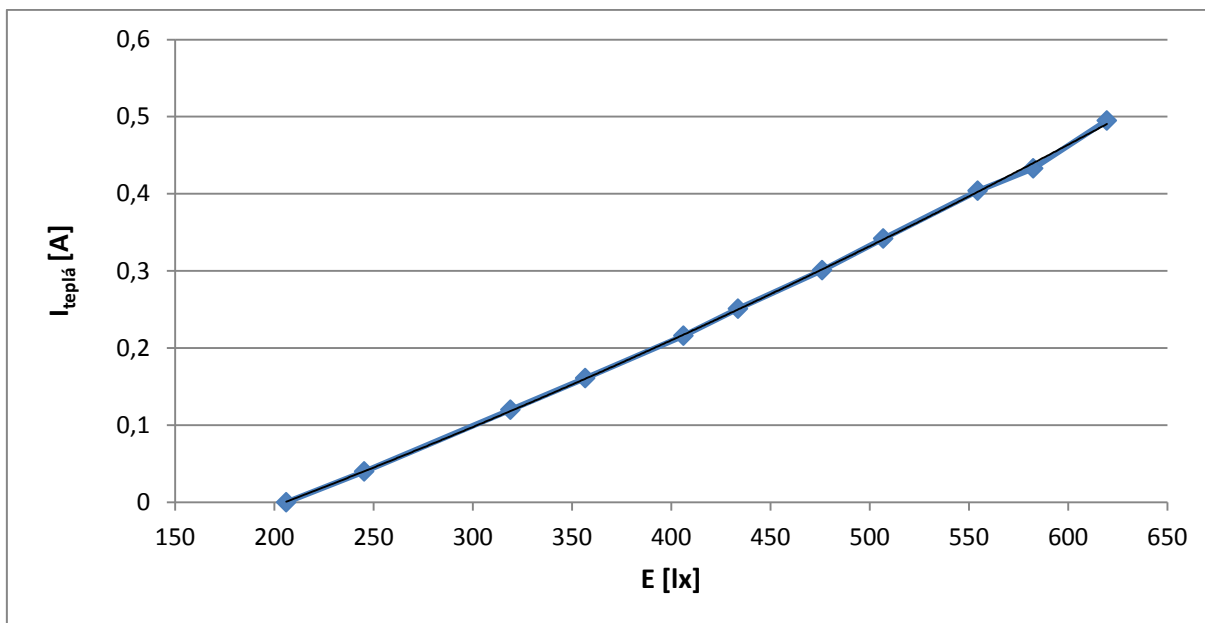


obr. 28: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti  $T_c$ , při konstantním  $I_{\text{studená}} = 0,215 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 4. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000000000005231 \cdot x^4 - 0,0000000086270049 \cdot x^3 + 0,0000532551745398 \cdot x^2 - 0,1460338030219460 \cdot x + 150,3466384754250000$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě teploty chromatičnosti viz. tab. 11: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,215 \text{ A}$ .



obr. 29: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti  $E$ , při konstantním  $I_{\text{studená}} = 0,215 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 2. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000004803729941 \cdot x^2 + 0,0007876830290567 \cdot x - 0,1818699302315510$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě osvětlenosti viz. tab. 11: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,215 \text{ A}$

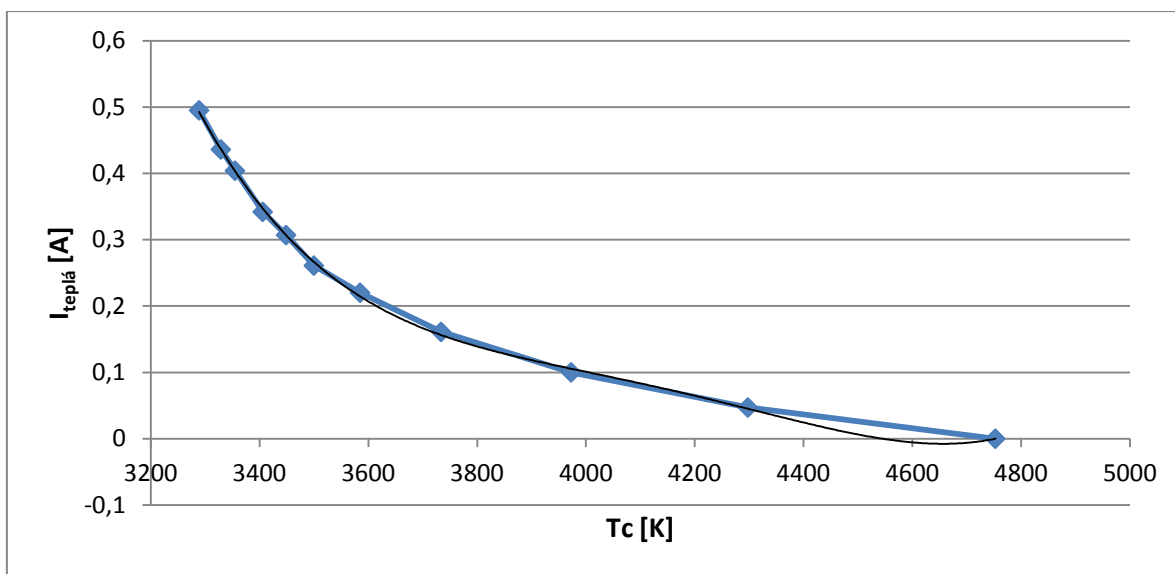
tab. 11: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu  $I = 0,215 \text{ A}$

Teplá I [A]	T <sub>c</sub> [K]	Teplá I [A]	E [lx]
1,140568	2950	-0,141285	50
0,622378	3150	-0,052909	150
0,335682	3350	0,0450741	250
0,192796	3550	0,1526648	350
0,126126	3750	0,269863	450
0,088165	3950	0,3966686	550
0,051491	4150	0,5330816	650
0,008772	4350	0,6791022	750
-0,02724	4550	0,8028359	830

## 5. měření a výpočty pro konstantní nastavený proud studenou LED $T_c = 4750 \text{ K}$ , $I = 0,247 \text{ A}$

tab. 12: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED  $I = 0,247 \text{ A}$

5. Studená $I = 0,247 \text{ A}$		
Teplá $I [\text{A}]$	E [lx]	$T_c [\text{K}]$
0	234	4753
0,047	278,9	4298
0,1	327,9	3973
0,161	385,4	3734
0,22	436,7	3585
0,261	470,9	3500
0,307	507,8	3449
0,342	535,6	3406
0,404	581,9	3355
0,436	603,6	3329
0,495	646,3	3289

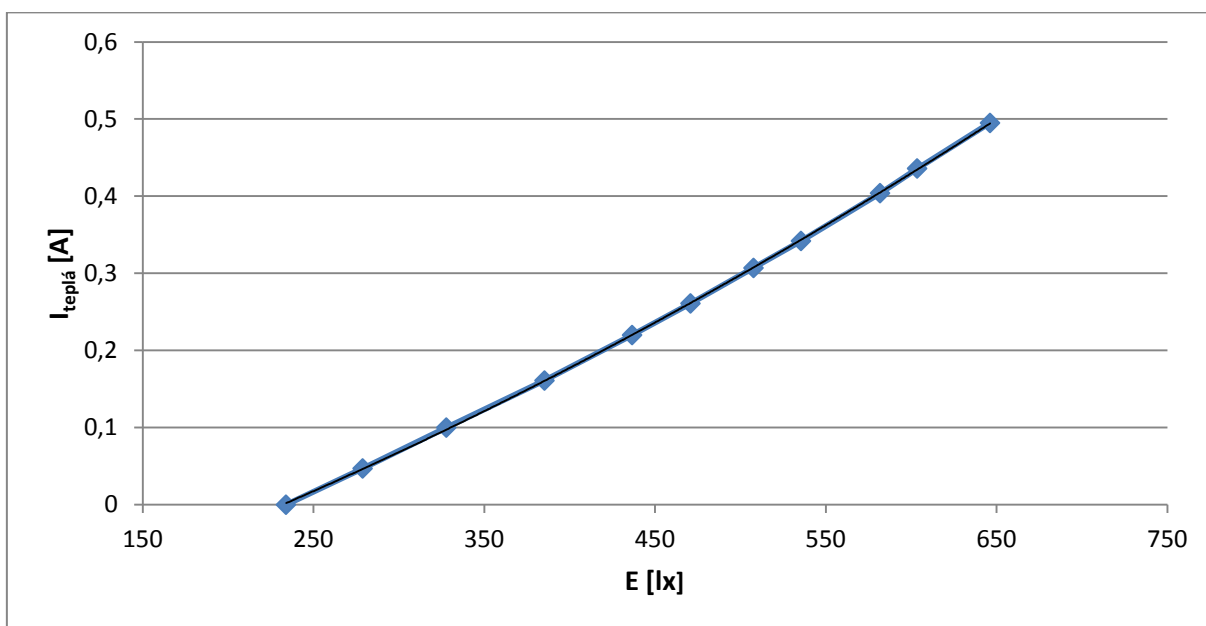


obr. 30: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti  $T_c$ , při konstantním  $I_{\text{studená}} = 0,247 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 4. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,00000000000005495 \cdot x^4 - 0,0000000091455493 \cdot x^3 + 0,0000569970213056 \cdot x^2 - 0,1578389199506080 \cdot x + 164,1417702506040000$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě teploty chromatičnosti viz. tab. 13: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,247 \text{ A}$ .



obr. 31: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti E, při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,247 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 2. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000005607341466 \cdot x^2 + 0,0007007951270398 \cdot x - 0,1927534646300400$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě osvětlenosti viz. tab.

13: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,247 \text{ A}$

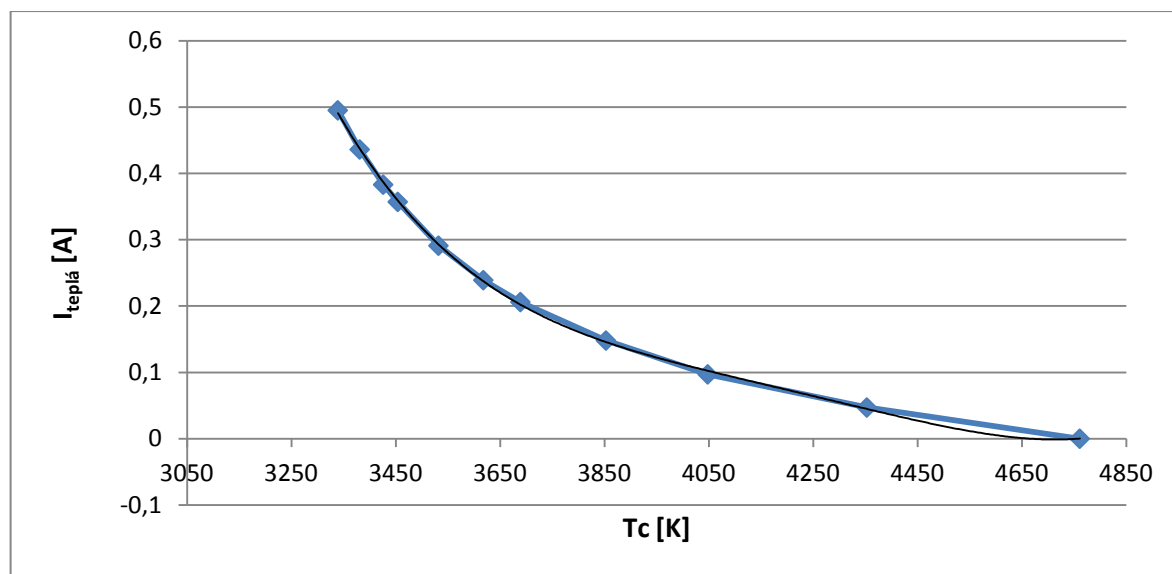
tab. 13: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu  $I = 0,247 \text{ A}$

Teplá I [A]	Tc [K]	Teplá I [A]	E [lx]
1,361125	2950	-0,15631	50
0,751546	3150	-0,07502	150
0,406611	3350	0,017491	250
0,23022	3550	0,121215	350
0,147378	3750	0,236153	450
0,104186	3950	0,362306	550
0,067848	4150	0,499674	650
0,026671	4350	0,648256	750
-0,009942	4550	0,775196	830

## 6. měření a výpočty pro konstantní nastavený proud studenou LED $T_c = 4750\text{ K}$ , $I = 0,282\text{ A}$

tab. 14: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED  $I = 0,282\text{ A}$

6. Studená $I = 0,282\text{ A}$		
Teplá $I$ [A]	E [lx]	$T_c$ [K]
0	264	4761
0,047	303	4353
0,097	350,3	4048
0,148	394,7	3853
0,206	447	3689
0,239	473,7	3618
0,291	517,2	3532
0,357	567,8	3454
0,383	588	3426
0,436	625,7	3381
0,495	666,2	3339



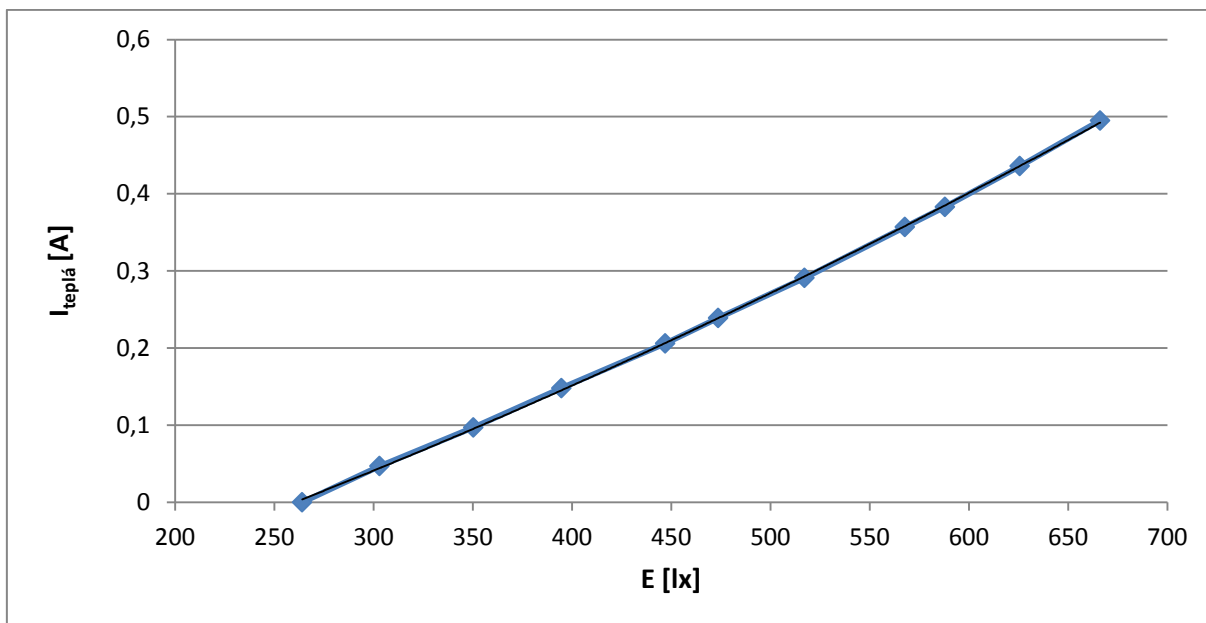
obr. 32: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti  $T_c$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,282\text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 4. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000000000004273 \cdot x^4 - 0,0000000072215799 \cdot x^3 + 0,0000457591221731 \cdot x^2 - 0,1290239860618270 \cdot x + 136,8589002305430000$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě teploty chromatičnosti viz. tab. 15: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,282\text{ A}$ .





obr. 33: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti  $E$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,282 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 2. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000004899228363 \cdot x^2 + 0,0007589642268109 \cdot x - 0,2306199301446280$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě osvětlenosti viz. tab.

15: Vypočtené hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,282 \text{ A}$

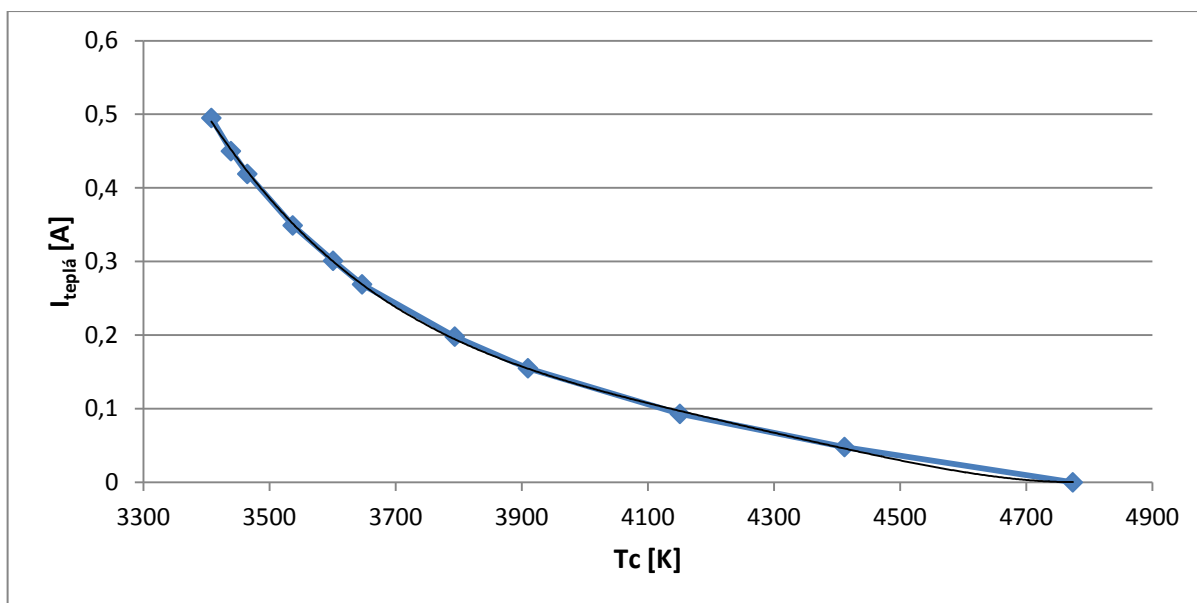
tab. 15: Vypočtené hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu  $I = 0,282 \text{ A}$

Teplá I [A]	Tc [K]	Teplá I [A]	E [lx]
1,422722	2950	-0,191447	50
0,8316867	3150	-0,105752	150
0,4783786	3350	-0,010259	250
0,282797	3550	0,0950331	350
0,1813497	3750	0,2101233	450
0,1268525	3950	0,3350121	550
0,0885299	4150	0,4696992	650
0,0520145	4350	0,6141848	750
0,0193473	4550	0,7368282	830

## 7. měření a výpočty pro konstantní nastavený proud studenou LED $T_c = 4750\text{ K}$ , $I = 0,337\text{ A}$

tab. 16: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED  $I = 0,337\text{ A}$

7. Studená $I = 0,337\text{ A}$		
Teplá $I$ [A]	E [lx]	$T_c$ [K]
0	310	4774
0,048	353,5	4412
0,093	395,9	4151
0,155	452,3	3910
0,198	489,2	3794
0,269	550,7	3647
0,301	574,3	3601
0,349	613,1	3537
0,419	665,5	3465
0,45	688,4	3439
0,495	716,8	3408

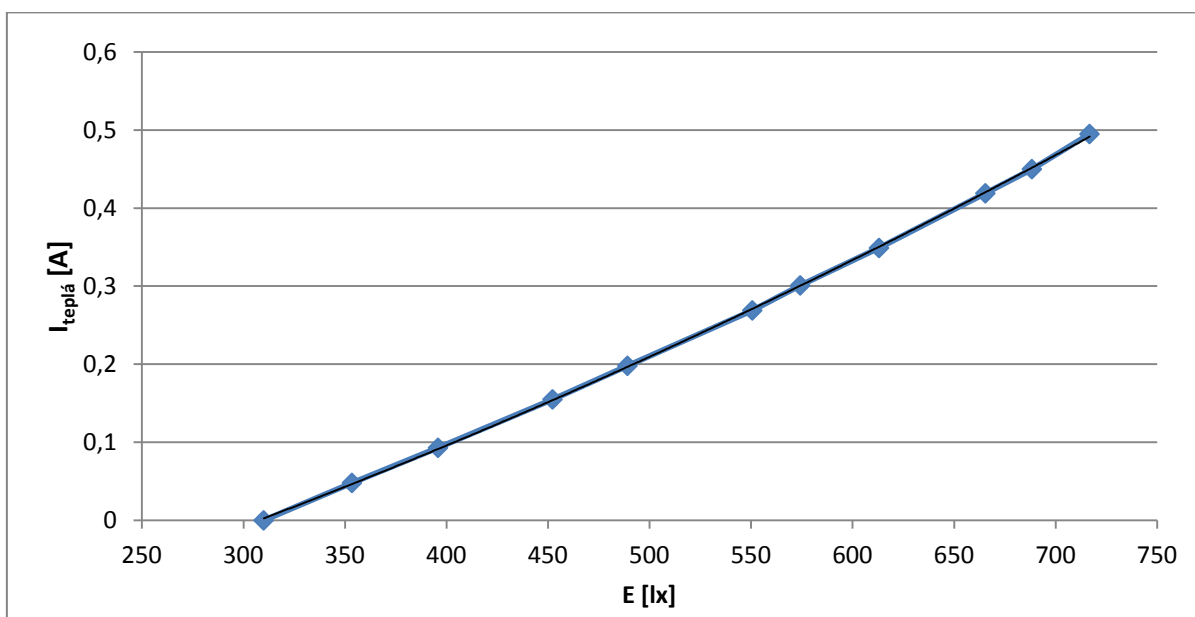


obr. 34: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti  $T_c$ , při konstantní  $I_{studená} = 0,337\text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 4. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000000000003850 \cdot x^4 - 0,0000000066080571 \cdot x^3 + 0,0000425479024473 \cdot x^2 - 0,1220084193821630 \cdot x + 131,7455325373050000$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě teploty chromatičnosti viz. tab. 17: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED v při konstantním proudu studené LED  $I = 0,337\text{ A}$



obr. 35: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti  $E$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,337 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 2. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000005207694940 \cdot x^2 + 0,0006673025806335 \cdot x - 0,2543811682408600$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě osvětlenosti viz. tab.

17: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,337 \text{ A}$

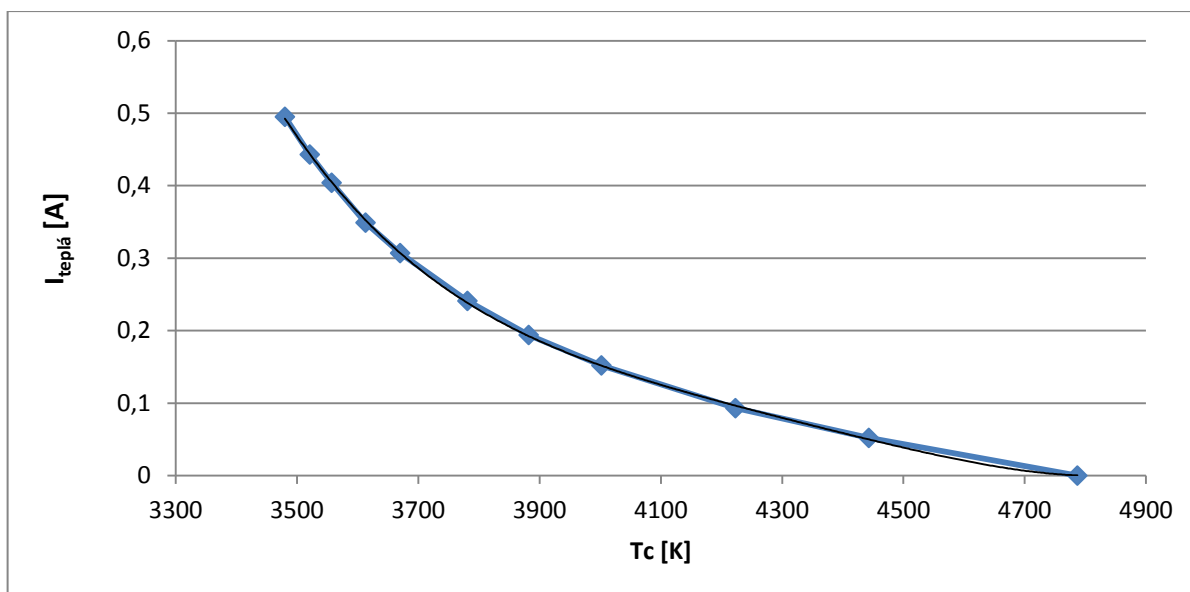
tab. 17: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu  $I = 0,337 \text{ A}$

Teplá I [A]	Tc [K]	Teplá I [A]	E [lx]
1,6066964	2950	-0,219714	50
0,9655292	3150	-0,142568	150
0,567413	3350	-0,055007	250
0,3354011	3550	0,042969	350
0,2073308	3750	0,151361	450
0,1358233	3950	0,270168	550
0,0882838	4150	0,399391	650
0,0469016	4350	0,539029	750
0,0086501	4550	0,658238	830

## 8. měření a výpočty pro konstantní nastavený proud studenou LED $T_c = 4750 \text{ K}$ , $I = 0,398 \text{ A}$

tab. 18: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED  $I = 0,398 \text{ A}$

8. Studená $I = 0,398 \text{ A}$		
Teplá $I [\text{A}]$	$E [\text{lx}]$	$T_c [\text{K}]$
0	358	4787
0,052	403,6	4443
0,093	441,8	4223
0,152	495,3	4002
0,194	532,3	3882
0,241	571,7	3781
0,307	626	3670
0,349	658,9	3613
0,404	696,9	3557
0,443	725,6	3521
0,495	761,5	3480

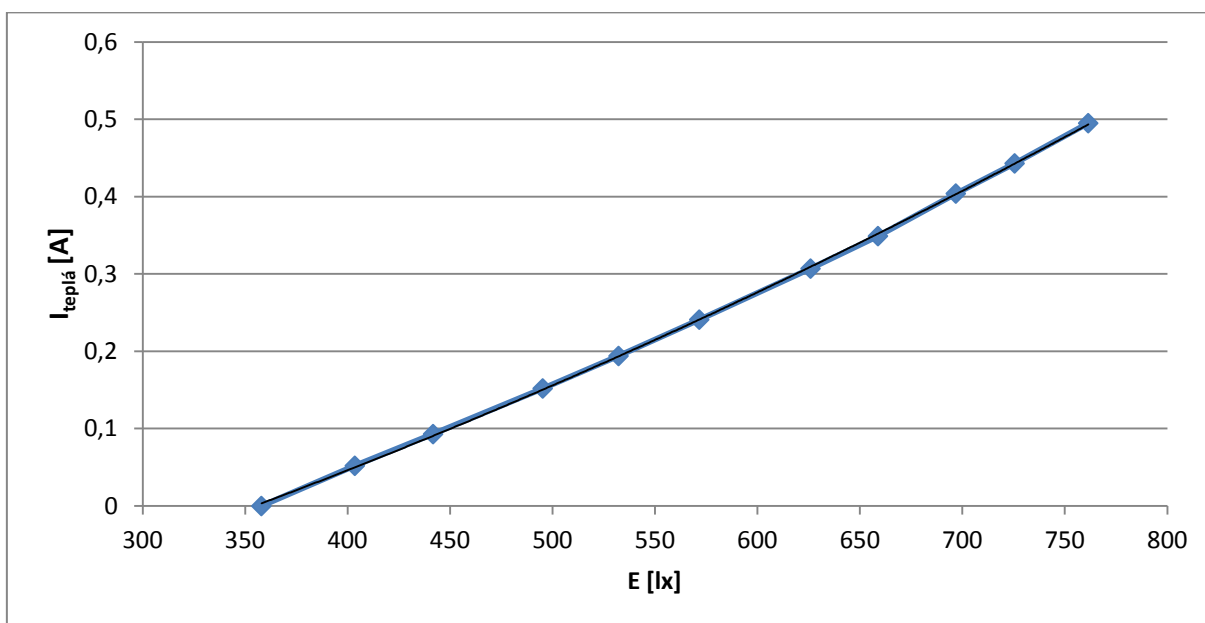


obr. 36: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti  $T_c$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,398 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 4. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000000000003953 \cdot x^4 - 0,0000000068567926 \cdot x^3 + 0,0000446421153538 \cdot x^2 - 0,1294927418283770 \cdot x + 141,4984768103240000$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě teploty chromatičnosti viz. tab. 19: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,398 \text{ A}$



obr. 37: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti E, při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,398 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 2. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000005365482758 \cdot x^2 + 0,0006137792709624 \cdot x - 0,2851549609075850$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě osvětlenosti viz. tab.

19: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,337 \text{ A}$

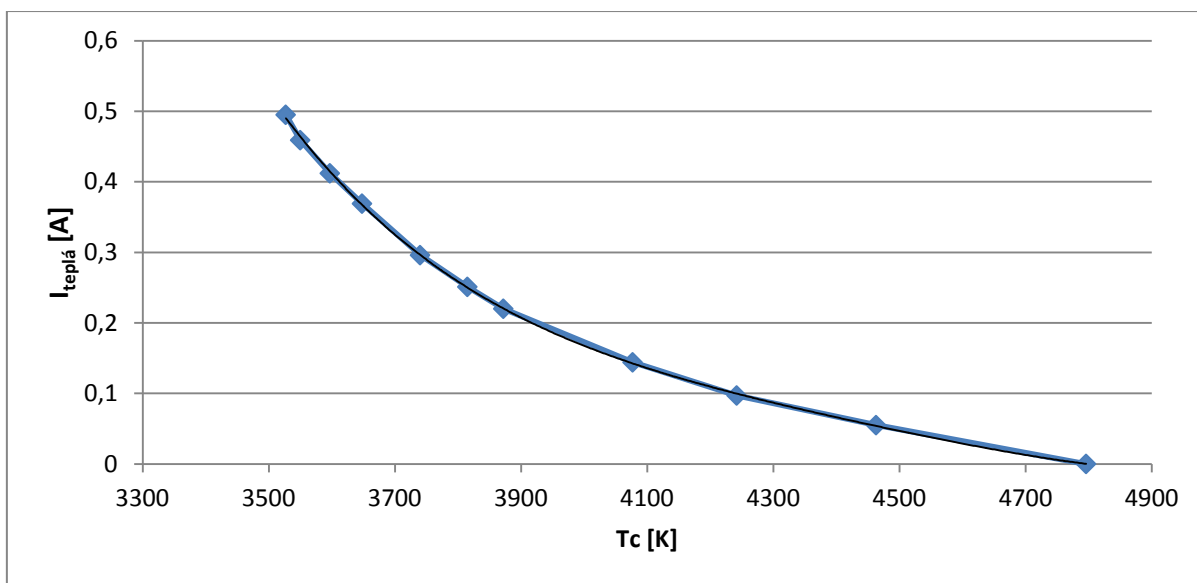
tab. 19: Tab. 19: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu  $I = 0,398 \text{ A}$

Teplá I [A]	Tc [K]	Teplá I [A]	E [lx]
1,900201	2950	-0,253125	50
1,162337	3150	-0,181016	150
0,696105	3350	-0,098176	250
0,419049	3550	-0,004605	350
0,263889	3750	0,099697	450
0,178524	3950	0,214729	550
0,126035	4150	0,340493	650
0,084681	4350	0,476988	750
0,047901	4550	0,59391	830

## 9. měření a výpočty pro konstantní nastavený proud studenou LED $T_c = 4750 \text{ K}$ , $I = 0,443 \text{ A}$

tab. 20: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED  $I = 0,443 \text{ A}$

9. Studená $I = 0,443 \text{ A}$		
Teplá $I [\text{A}]$	E [lx]	$T_c [\text{K}]$
0	393	4796
0,055	439,6	4463
0,097	480	4242
0,144	522,1	4077
0,22	588,2	3872
0,251	614	3815
0,296	650	3740
0,369	690,7	3648
0,412	736,9	3597
0,459	771,5	3550
0,495	795,6	3527

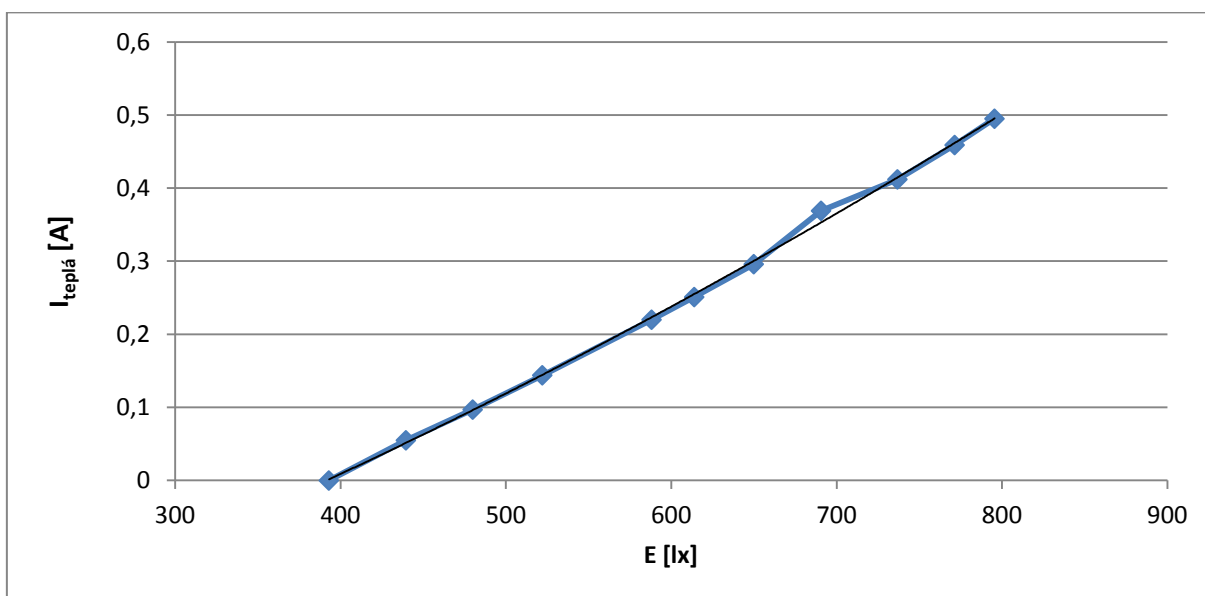


obr. 38: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti  $T_c$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,443 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 4. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000000000002678 \cdot x^4 - 0,0000000047785644 \cdot x^3 + 0,0000320402169930 \cdot x^2 - 0,0958509604835661 \cdot x + 108,2082906558170000$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě teploty chromatičnosti viz. tab. 21: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,443 \text{ A}$



obr. 39: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti  $E$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,443 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 2. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000004349070580 \cdot x^2 + 0,0007096487641137 \cdot x - 0,3445023928697940$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě osvětlenosti viz. tab.

21: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,443 \text{ A}$

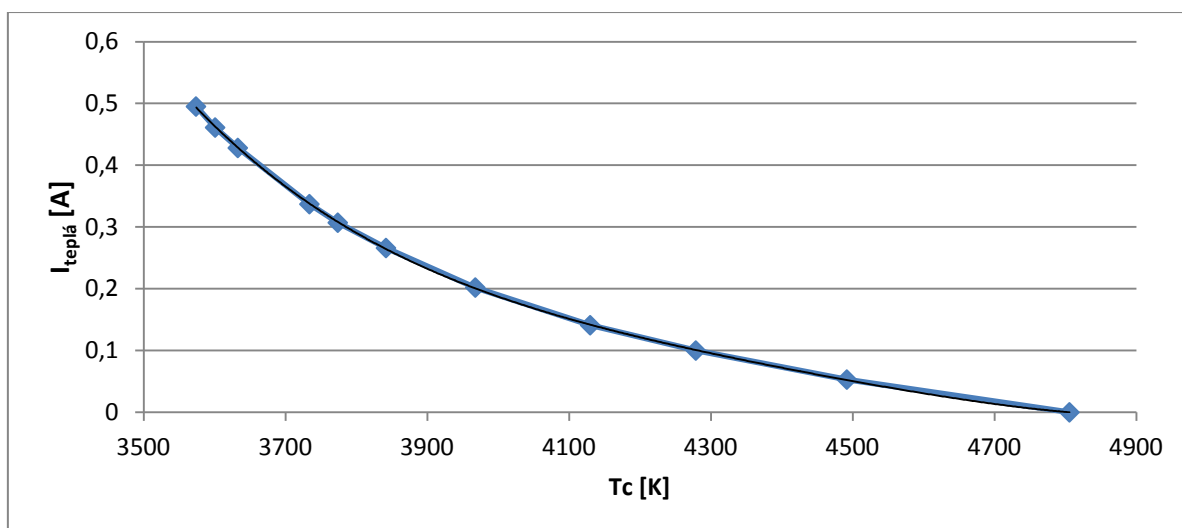
tab. 21: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu  $I = 0,443 \text{ A}$

Teplá I [A]	Tc [K]	Teplá I [A]	E [lx]
1,8822813	2950	-0,307933	50
1,2051252	3150	-0,22827	150
0,7549264	3350	-0,139909	250
0,4694213	3550	-0,042849	350
0,2966294	3750	0,062908	450
0,1948538	3950	0,177364	550
0,1326813	4150	0,300518	650
0,0889819	4350	0,432369	750
0,0529095	4550	0,544114	830

## 10. měření a výpočty pro konstantní nastavený proud studenou LED $T_c = 4750 \text{ K}$ , $I = 0,495 \text{ A}$

tab. 22: Naměřené hodnoty při konstantním proudu studené LED  $I = 0,495 \text{ A}$

10. Studená $I = 0,495 \text{ A}$		
Teplá $I [\text{A}]$	E [lx]	$T_c [\text{K}]$
0	431,1	4806
0,053	481,6	4492
0,1	523,6	4279
0,141	561,5	4130
0,202	612,6	3968
0,266	665,6	3842
0,307	699,7	3774
0,337	721	3734
0,428	788,8	3633
0,461	811,3	3601
0,495	835,7	3574



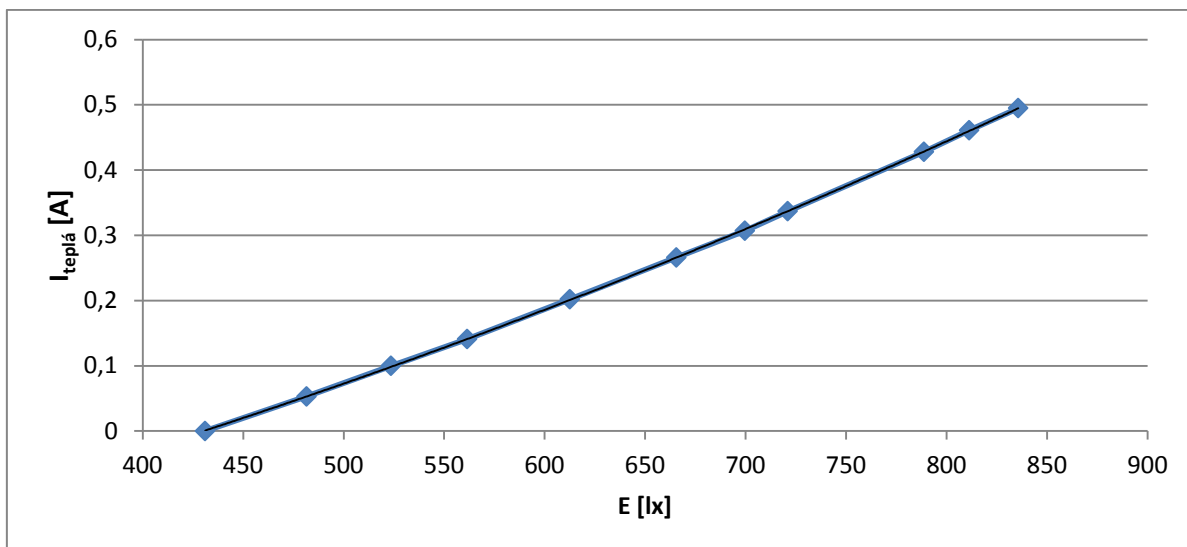
obr. 40: Graf závislosti proudu teplé LED na teplotě chromatičnosti  $T_c$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,495 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 4. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,00000000000003148 \cdot x^4 - 0,0000000055945358 \cdot x^3 + 0,0000373639834714 \cdot x^2 - 0,1113685827506840 \cdot x + 125,2936767872970000$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě teploty chromatičnosti viz. tab. 23: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,496 \text{ A}$





obr. 41: Graf závislosti proudu teplé LED na osvětlenosti  $E$ , při konstantní  $I_{\text{studená}} = 0,495 \text{ A}$

Graf byl aproximován křivkou 2. řádu s přesností na 16 desetinných míst:

$$y = 0,0000005309042303 \cdot x^2 + 0,0005479027796990 \cdot x - 0,3339599908438580$$

Pomocí této rovnice křivky byly dopočítány hodnoty proudů při zadané hodnotě osvětlenosti viz. tab.

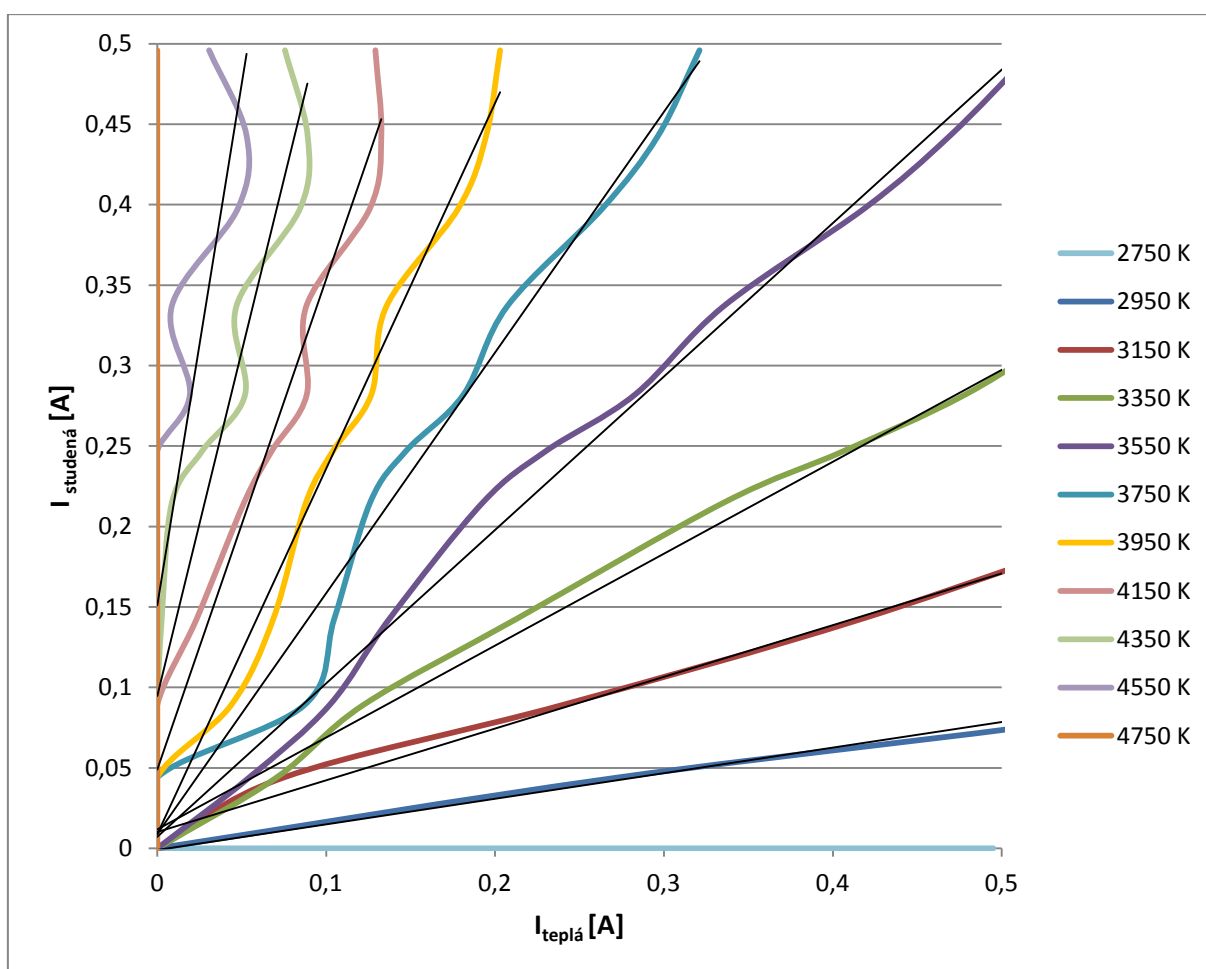
23: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu studené LED  $I = 0,495 \text{ A}$

tab. 23: Vypočítané hodnoty proudu teplé LED při konstantním proudu  $I = 0,495 \text{ A}$

Teplá I [A]	Tc [K]	Teplá I [A]	E [lx]
2,1323106	2950	-0,305238	50
1,3586062	3150	-0,239829	150
0,8448883	3350	-0,163803	250
0,5190542	3550	-0,077158	350
0,3210899	3750	0,020104	450
0,2030694	3950	0,127985	550
0,1291551	4150	0,246484	650
0,0755978	4350	0,375601	750
0,0307367	4550	0,486539	830

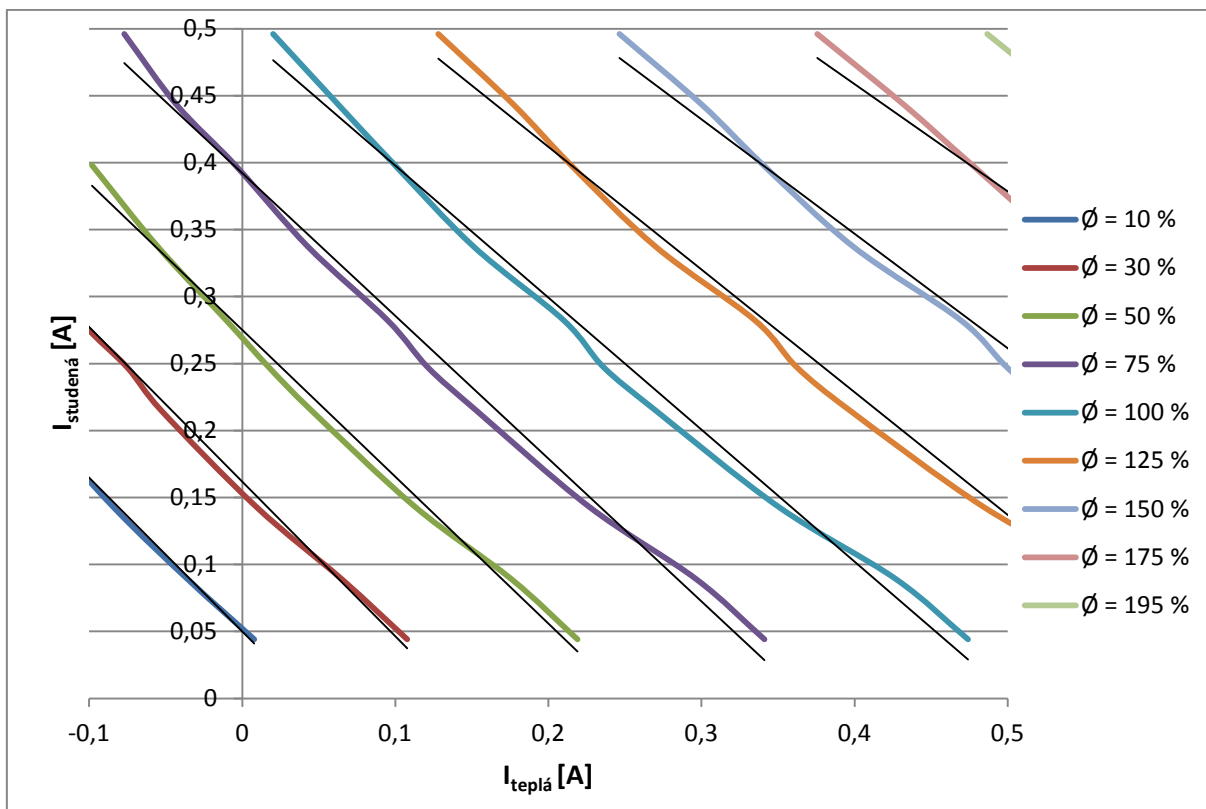
## 8. Vytvoření řídicích křivek pro konstantní světelný tok, při změně náhradní teploty chromatičnosti svítidla

Z naměřených mezních hodnot viz. tab. 3, 4 a vypočítaných hodnot lze nyní sestavit obr. 40: Graf teploty chromatičnosti. Je to graf závislosti proudu studené LED a proudu teplé LED. Pomocí tohoto grafu lze řídit velikost proudu teplé LED a studené LED, tak aby byla zachována konstantní teplota chromatičnosti. Jednotlivé křivky se proloží lineární křivkou. Výsledné lineární křivky se využijí pro sestavení konečného grafu obr. 42: Graf řídicích křivek pro konstantní světelný tok při změně náhradní teploty chromatičnosti.



obr. 42: Graf teploty chromatičnosti

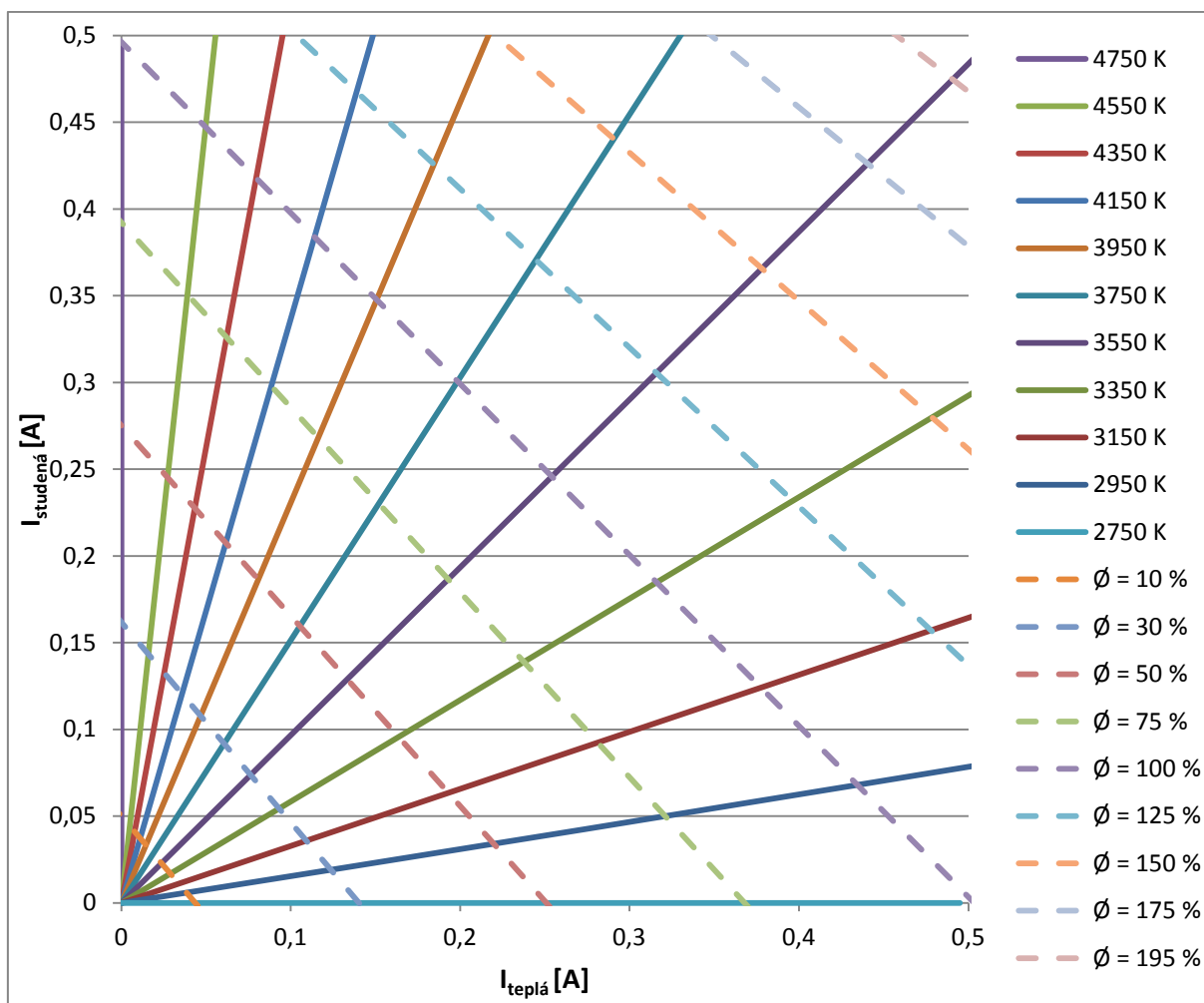
Z naměřených a vypočítaných hodnot lze také sestavit obr. 43: Graf světelného toku v procentech. Je to opět graf závislosti proudu studené LED a proudu teplé LED. Nyní pomocí tohoto grafu je možné řídit velikost proudu teplé LED a studené LED, tak aby byla zachována velikost světelného toku. Jednotlivé křivky jsou opět proloženy lineárními křivkami. Záporné hodnoty v obr. 43 jsou jen z matematických důvodů, aby bylo možné přesněji vypočítat potřebné hodnoty. Výsledné lineární křivky se využijí pro sestavení konečného grafu obr. 44: Graf řídicích křivek pro konstantní světelný tok při změně náhradní teploty chromatičnosti.



obr. 43: Graf světelného toku v procentech

Jelikož je osvětlenost  $E$  ekvivalentní světelnému toku  $\Phi$ , tak nebylo nutné složitých přepočtu. Jen se převedla osvětlenost na procenta, což odpovídá i světelnému toku v procentech.

Pro sestrojení výsledného grafu se nyní využijí křivky z obr. 42: Graf teploty chromatičnosti a z obr. 43: Graf osvětlenosti, které jsou lineární. Pomocí tohoto grafu je možné řídit velikost teploty chromatičnosti, tak aby osvětlenost zůstala konstantní a naopak.



obr. 44: Graf řídících křivek pro konstantní světelný tok při změně náhradní teploty chromatičnosti.

Na základě naměřených, vypočtených a aproximovaných hodnot bylo možné stanovit řídící křivky pro konstantní světelný tok při změně náhradní teploty chromatičnosti. Jelikož bylo svítidlo dobře navrženo a byly použity LED se skoro stejným světelným tokem, tak zle na obr. 44 vidět, že proudy jsou téměř totožné, při nastavování světelného toku. Teoretický předpoklad u křivek pro náhradní teplotu chromatičnosti byl že budou symetrické, ale jak je vidět na obr. 44 tak nejsou.

Pomocí tohoto grafu a vypočítaných hodnot lze napodobit sluneční svit umělým osvětlením v průběhu dne. Ráno, když slunce vychází, svítí příjemně teplé a člověk se začíná probouzet. Teplota chromatičnosti je nízká. Během dne teplota chromatičnosti stoupá, člověku se lépe pracuje. Na konci dne, kdy slunce zapadá, postupně klesá teplota chromatičnosti a člověk již tolik nepracuje ale relaxuje. Pomocí takto řízeného osvětlení je možné měnit i určení místnosti. Například obývací pokoj: pokud chce člověk odpočívat, nastaví teplotu chromatičnosti na nižší úroveň. Pokud je obývací pokoj z části i pracovna, může teplotu chromatičnosti nastavit na vyšší hodnotu, při které se mu bude lépe pracovat.

## 9. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo proměřit nově vyvíjené svítidlo na fakultě FEI ve spolupráci s firmou OSMONT a stanovit řídicí křivky pro konstantní světelný tok při změně náhradní teploty chromatičnosti. Na základě těchto křivek lze přizpůsobit osvětlení interiéru cirkadiánním rytům. To znamená že **ráno**, když člověk vstává by měly svítidla svítit v teplých barvách (nižší teplota chromatičnosti). Produkce hormonu melatoninu (spánkový hormon) se snižuje a začíná se vytvářet hormon kortizol (adrenalin). Organismus se připravuje na nečekané a stresové situace.

**Během dopoledních hodin** by se měla teplota chromatičnosti zvyšovat (studená až chladná barva světla) zhruba do 14 - 15 hodin kdy by měla nabývat maximálních hodnot. Produkce melatoninu je na minimu a bdělost a svěžest organismu je na maximu.

**Ve večerních hodinách**, kdy relaxuje a připravuje se ke spánku by se teplota chromatičnosti měla snižovat na příjemné teplé světlo. Začíná produkce melatoninu a člověk se cítí unaveně. Hladina kortizolu je na minimu.

**V průběhu nočních hodin**, kdy je tma, je produkce melatoninu na maximu. Kortizol se začne vytvářet během brzkých ranních hodin, tak aby byl opět v ranních hodinách na maximu a připravil organismus pro další den.

Úvodní kapitola se zabývá teorií světla a jak člověk vnímá světlo a barvy. Je zde také popsáno jak světlo ovlivňuje psychiku člověka. V dalších kapitolách je popsán princip funkce LED, regulace a napájení.

V části praktické je nejprve popsáno svítidlo, které obsahuje 10 LED s  $T_c = 2750\text{ K}$  a 10 LED s  $T_c = 4750\text{ K}$ . Pro napájení bylo zapotřebí dvou předřadníků, pro každý typ LED jeden. Při vlastním měření byly nejprve proměřeny mezní hodnoty, kdy byl regulován 1. typ LED a 2. typ LED byl vypnut a naopak. Tímto měřením byly získány hodnoty, které v hlavním grafu obr. 44 odpovídaly ose x a ose y. Další měření probíhalo tak, že se nejprve nastavil proud studené LED a k tomu se reguloval proud teplé LED v rozmezí 0 A až 0,495 A. Celkem bylo proměřeno 10 konstantních hodnot proudu na studené LED a ke každé této hodnotě proudu dalších 10 hodnot proudu teplé LED. Při každé regulaci proudu byly odečteny hodnoty teploty chromatičnosti v kelvinech (K) a hodnoty osvětlenosti v luxech (lx). Z těchto naměřených hodnot se sestrojily grafy, kdy se naměřené hodnoty proložily křivkou. Pomocí této aproximace bylo možné vygenerovat rovnici křivky, a dále vypočítat další potřebné hodnoty k sestrojení řídicích křivek. Na obr. 44 si lze všimnout, že křivky pro teplotu chromatičnost nejsou zcela symetrické. Teoretický předpoklad byl, že symetrické budou. Na obrázku je možné také pozorovat velikost proudu jak studené LED, tak i teplé LED. Proudů jsou skoro symetrické, což je dáno vhodně zvolenými LED s podobnou velikostí světelného toku.

## Literatura

- [1] SOKANSKÝ, Karel. Světelná technika. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [2] HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. 2013. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [3] Česká televize: Vesmír: Mlhoviny [online]. Česká televize, 2014 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/10391317150-vesmr/212382553450027-mlhoviny/>
- [4] Vnímání barev. Techmania Science Center [online]. Techmania Science Center, o.p.s., 2017 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/svetlo/vnimani-barev>
- [5] Dáma.cz: Kruh - doplňkové barvy [online]. 2009 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://foto.dama.cz/foto.php?f=467741>
- [6] Technické informace: barvy světla LED diod. OSRAM [online]. 2016 [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: <http://www.osram.cz>
- [7] Fototerapie - celková pohoda prostřednictvím očí [online]. 2015, 2015-11-1 [cit. 2015-11- 1]. Dostupné z: [http://www.osram.cz/osram\\_cz/novinky-a-znalosti/biologicke-ucinkysvetla---svetlo-znamena-kvalitu-zivota/poznatky/fototerapie/index.jsp](http://www.osram.cz/osram_cz/novinky-a-znalosti/biologicke-ucinkysvetla---svetlo-znamena-kvalitu-zivota/poznatky/fototerapie/index.jsp)
- [8] PRAŠKO, Ján, a spol., Fototerapie- léčba jasným světlem [online]. 2011, 2015-10-12, : 7 [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <http://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2011/11/08.pdf>
- [9] FUKSA, Antonín. Světlo a biologické hodiny: účinky a užití optického záření. In: Odborné časopisy: Světlo [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42567.pdf>
- [10] JETI Technische Instrumente GmbH: Spectrometric Solutions from Components to Systems [online]. Jena- Germany: JETI Technische Instrumente, 2016 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.jeti.com/cms/index.php/instruments-55/radiometer/specbos/specbos-1211>
- [11] BOS, Ing. Petr. Charakteristiky LED a spektrofotometrů: JETI specbos 1211 a AvaSpec 2048. Ostrava, 2016.